

# **Diagnostika elektrických ochran na rozvodně R 22 kV Olomouc - Hodolany**

Diagnostics of electrical protections at the substation R 22 kV  
Olomouc - Hodolany

**Bc. Josef Váňa**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec

Ostrava, 2021

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu této diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňkovi Medvecovi za cenné připomínky a odborné rady.

## **Abstrakt**

Předmětem této diplomové práce je problematika diagnostiky elektrických ochran a chránění distribučních sítí. Práce obsahuje jak teorii k danému tématu, tak praktickou část.

Teoretická část zahrnuje kapitoly 1 až 3. První kapitola se zabývá teorií chránění, jsou zde vymezeny základní pojmy, popsány poruchy v elektrizační soustavě a uvedeny informace o konstrukci ochran. V druhé kapitole jsou uvedeny jednotlivé typy ochran. Třetí kapitola je pak zaměřena na chránění distribučních sítí vysokého a velmi vysokého napětí.

Praktická část je obsažena ve 4. kapitole a popisuje diagnostiku čtyř ochran SIPROTEC 7SJ85 na rozvodně Olomouc – Hodolany, R 22kV. V této části je také proveden rozbor působení ochran v programu Siga a analýza rychlosti jejich působení.

## **Klíčová slova**

Elektrická ochrana, SIPROTEC 7SJ85, diagnostika ochran, distribuční síť, Omicron, Test Universe.

## **Abstract**

This master thesis deals with the diagnostic of electrical protections with focusing on distribution grid. The thesis includes both a theory on the topic and a practical part.

The theoretical part includes chapters 1 to 3. The first chapter deals with theory of protection and it defines the basic concepts, describes the faults in the electrical system and provides information about the design of protections. The second chapter describes the different types of protection. The third chapter is focusing on the protection of distribution grid.

The practical part includes chapter 4. It describes the diagnostics of four protection SIPROTEC 7SJ85 at the substation Olomouc – Hodolany, R 22kV. This part also includes an analysis of the action of electrical protections in Siga software and analysis of the speed of their action.

## **Key words**

Electrical protection device, SIPROTEC 7SJ85, diagnostic of protections, distribution grid, Omicron, Test Universe.

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	<b>7</b>
<b>Seznam ilustrací</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam grafů</b> .....	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>11</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Teoretický rozbor ochran a jištění</b> .....	<b>14</b>
1.1 Základní pojmy .....	14
1.1.1 Definice ochrany .....	14
1.1.2 Chráněný objekt.....	14
1.2 Poruchy.....	16
1.2.1 Poruchové stavy.....	16
1.3 Elektrické ochrany .....	18
1.4 Požadavky kladené na elektrické ochrany.....	19
1.5 Základní členy ochran .....	20
1.5.1 Vstupní člen .....	21
1.5.2 Popudový člen.....	21
1.5.3 Měřicí člen .....	22
1.5.4 Logika ochrany .....	22
1.5.5 Časový člen .....	23
1.5.6 Koncový člen .....	23
1.5.7 Napájecí člen.....	23
1.5.8 Filtry souměrných složek proudu a napětí.....	23
1.6 Provedení elektrických ochran .....	24
1.6.1 Elektromechanické ochrany .....	24
1.6.2 Elektronické ochrany .....	24
1.6.3 Digitální ochrany .....	25
1.7 Komunikace ochran .....	26
1.8 Měřicí zařízení pro ochrany .....	28
1.8.1 Přístrojové transformátory proudu (PTP) .....	28
1.8.2 Přístrojové transformátory napětí (PTN).....	29
1.9 Chránění a norma .....	30

<b>2</b>	<b>Ochrany a automatiky používané v distribučních sítích .....</b>	<b>32</b>
2.1	Nadproudové ochrany.....	33
2.1.1	Nezávislé nadproudové ochrany .....	33
2.1.2	Závislé nadproudové ochrany.....	34
2.1.3	Polozávislé nadproudové ochrany .....	36
2.1.4	Směrové nadproudové ochrany .....	37
2.2	Distanční ochrany .....	37
2.3	Ochrany transformátoru .....	40
2.3.1	Rozdílová ochrana transformátoru.....	40
2.3.2	Nádobová (kostrová) ochrana .....	41
2.3.3	Plynové relé .....	42
2.4	Fázové srovnávací ochrany.....	43
2.5	Rozdílová ochrana přípojníc .....	43
2.6	Ochrany při zemním spojení.....	43
2.7	Automatika opětného zapínání .....	44
2.8	Další typy ochran .....	45
2.8.1	Napěťové ochrany .....	45
2.8.2	Frekvenční ochrany.....	45
2.8.3	Automatika selhání vypínače .....	46
<b>3</b>	<b>Problematika chránění distribučních sítí .....</b>	<b>47</b>
3.1	Distribuční soustava .....	47
3.2	Sítě 110 kV .....	48
3.2.1	Chránění sítí 110 kV .....	48
3.3	Sítě vysokého napětí .....	49
3.3.1	Chránění sítí vn .....	49
3.4	Distribuční transformátory vvn/vn.....	51
3.4.1	Chránění distribučních transformátorů vvn/vn .....	51
<b>4</b>	<b>Diagnostika ochran na rozvodně .....</b>	<b>52</b>
4.1	Rozvodna Olomouc – Hodolany, R 22 kV .....	52
4.2	Diagnostika digitálních ochran .....	52
4.3	Ochrana SIPROTEC 7SJ85 .....	53
4.4	Použitá měřicí zařízení a software.....	56
4.4.1	Omicron CMC 353.....	56

4.4.2	Omicron Test Universe 4.20 .....	58
4.4.3	Multimetr Fluke 175 .....	59
4.5	Příprava testování ochran .....	60
4.5.1	Přehled nastavení ochran .....	60
4.5.2	Úvodní konfigurace Omicron Test Universe .....	60
4.5.3	Příprava testů nadproudových charakteristik .....	62
4.5.4	Příprava testů dynamického přepínání parametrů (CLP) .....	64
4.5.5	Příprava testů pro automatiku OZ .....	65
4.5.6	Příprava testů frekvenčních ochran .....	65
4.5.7	Příprava testů přepětové ochrany a nesymetrie napětí u transformátorů .....	67
4.5.8	Příprava testů zemní směrové a nesměrové ochrany .....	68
4.5.9	Testy dalších funkcí ochrany a měření .....	70
4.5.10	Kompletní testovací dokument a praktické provedení zkoušek .....	71
4.6	Naměřené hodnoty a výsledky diagnostiky ochran .....	72
4.6.1	AVA10, VN303 .....	72
4.6.2	AVA12, VN393 .....	77
4.6.3	AVA17, T101 (22 kV) .....	82
4.6.4	AVA29, T102 (22 kV) .....	85
4.7	Rozbor působení vybraných ochranných funkcí v programu Siga .....	87
4.8	Rozbor rychlosti působení vybraných ochranných funkcí .....	90
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>94</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>95</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
A/D	Analogově digitální převodník
ČR	Česká republika
DO	Distanční ochrana
DS	Distribuční síť
ES	Elektrizační soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events – objektově orientovaná událost rozvodny
HDO	Hromadné dálkové ovládání
$I_{max}$	Maximální hodnota proudu (amplituda proudu) [A]
$I_{test}$	Testovací proud [A]
$I_{nast}$	Proud nastavený v ochraně [A]
IED	Intelligent Electronic Device (inteligentní elektronické zařízení)
OZ	Automatika opětného zapínání
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
ŘS	Řídicí systém
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol – primární přenosový protokol/protokol síťové vrstvy
TRMS	True Root Mean Square (měření skutečné efektivní hodnoty)
$U_{max}$	Maximální hodnota napětí (amplituda napětí) [V]
ZRP	Zvláštní režim provozu
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
zvn	Zvlášť vysoké napětí
$\varphi_i$	počáteční fáze proudu [rad]
$\varphi_u$	počáteční fáze napětí [rad]

Poznámka:

Další symboly a zkratky uvedené v textu se nacházejí jen s jejich označením nebo se jedná o standardní značení veličin.

## Seznam ilustrací

Obr. 1 Interakce mezi chráněným objektem, ochranou a řídicím systémem [3].....	15
Obr. 2 Charakteristiky měřícího a popudového členu [4] .....	22
Obr. 3 Elektromechanická nadproudová ochrana A32 .....	24
Obr. 4 Elektronická ochrana transformátorů RAX 1 [12] .....	25
Obr. 5 Digitální nadproudová ochrana SIPROTEC 7SJ63 .....	26
Obr. 6 Komunikační infrastruktura s integrací ochran do řídicího systému [8] .....	27
Obr. 7 Charakteristiky časově nezávislých nadproudových ochran .....	33
Obr. 8 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran [9] .....	34
Obr. 9 Charakteristika časově závislé nadproudové ochrany [9] .....	35
Obr. 10 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [9] .....	36
Obr. 11 Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany [9].....	36
Obr. 12 Princip působení směrových nadproudových ochran [9].....	37
Obr. 13 Vypínací charakteristiky distanční ochrany .....	38
Obr. 14 Princip nastavení distančních ochran pro vzájemné zálohování.....	39
Obr. 15 Princip funkce PSB u distanční ochrany [11] .....	39
Obr. 16 Vypínací charakteristika rozdílové ochrany.....	41
Obr. 17 Nádobová ochrana transformátoru [9] .....	42
Obr. 18 Plynové (Buchholzovo) relé [9].....	42
Obr. 19 Rozdělení distribuční soustavy mezi jednotlivé provozovatele .....	47
Obr. 20 SIPROTEC 7SJ85 .....	53
Obr. 21 Univerzální testovací zařízení Omicron CMC 353 [25] .....	56
Obr. 22 Popis konektorů na přední straně Omicron CMC 353 [26] .....	58
Obr. 23 Multimetr Fluke 175 .....	59
Obr. 24 Zjednodušené schéma zapojení Omicronu a ochrany .....	61
Obr. 25 Konfigurace analogových výstupů Omicronu.....	61
Obr. 26 Konfigurace binárních (analogových) vstupů Omicronu .....	62
Obr. 27 Konfigurace binárních výstupů Omicronu.....	62
Obr. 28 Nastavení vypínací charakteristiky nadproudové ochrany v Test Universe.....	63
Obr. 29 Příklad testu pro nadproudovou ochranu .....	63
Obr. 30 Test dynamického nastavení parametrů při studeném zapnutí .....	64
Obr. 31 Test automatiky OZ .....	65
Obr. 32 Test náběhové hodnoty 1. stupně frekvenční ochrany.....	66
Obr. 33 Měření vypínacího času 1. stupně frekvenční ochrany .....	67
Obr. 34 Test náběhové hodnoty 1. stupně přepětové ochrany .....	67
Obr. 35 Měření času 1. stupně přepětové ochrany .....	68
Obr. 36 Test náběhové hodnoty zemní nesměrové ochrany .....	69
Obr. 37 Měření vypínacího času zemní nesměrové ochrany při ZRP.....	69
Obr. 38 Test zemní směrové ochrany v Quick CMC .....	70
Obr. 39 Kompletní sada testů pro zkoušku ochrany na vedení VN393.....	71



Obr. 40 Provedení diagnostiky ochran v praxi na rozvodně Olomouc - Hodolany .....	72
Obr. 41 Charakteristika směrové nadproudové ochrany s testovacími body pro VN303.....	73
Obr. 42 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (1. sada) .....	74
Obr. 43 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN303 (2. sada) .....	75
Obr. 44 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (2. sada) .....	75
Obr. 45 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada) .....	78
Obr. 46 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada) .....	79
Obr. 47 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN393 (2. sada) .....	80
Obr. 48 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (2. sada) .....	81
Obr. 49 Charakteristika nadproudové ochrany T101 .....	83
Obr. 50 Charakteristika nadproudové ochrany T102 .....	86
Obr. 51 Test zkratové ochrany a automatiky OZ.....	87
Obr. 52 Poruchový záznam z ochrany VN393 zobrazený v programu Siga .....	88
Obr. 53 Vznik poruchy a popud ve fázi $L_1$ .....	88
Obr. 54 Čas potřebný pro určení směru poruchy ochranou .....	89
Obr. 55 Čas působení zkratové ochrany.....	89
Obr. 56 Vznik nulové složky napětí a vypnutí ochranou při ZRP .....	90

## Seznam grafů

Graf 1 Naměřené vypínací časy nadproudových nesměrových ochran .....	90
Graf 2 Naměřené vypínací časy nadproudových směrových ochran .....	91
Graf 3 Porovnání vypínacích časů směrových a nesměrových ochran .....	91
Graf 4 Naměřené vypínací časy zemní nesměrové ochrany .....	92
Graf 5 Naměřené vypínací časy frekvenční ochrany .....	92
Graf 6 Srovnání vypínacích časů testovaných ochran .....	93

## Seznam tabulek

Tab. 1 Normalizované charakteristiky časově závislých nadproudových ochran [2] .....	35
Tab. 2 Možnosti chránění transformátorů [9].....	40
Tab. 3 Stupně frekvenčního odlehčování [28].....	46
Tab. 4 Délky vedení distribuční soustavy v ČR, stav k 31.12.2019 [21] [22] [23] .....	48
Tab. 5 Aktivní a neaktivní ochranné funkce u testovaných ochran .....	60
Tab. 6 LOR - logika blokování pro testované ochrany .....	70
Tab. 7 Základní informace o testované ochraně v kobce č.10 .....	72
Tab. 8 Nastavení nadproudové ochrany pro VN303 .....	72
Tab. 9 Test směrové nadproudové ochrany VN303 (1. sada) .....	73
Tab. 10 Směrová nadproudová ochrana pro VN303 – dynamické přepínání parametrů (1. sada) .....	73
Tab. 11 Test nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (1. sada).....	74
Tab. 12 Nesměrová nadproudová ochrana pro VN303 – dynamické přepínání parametrů (1. sada) ..	74
Tab. 13 Test směrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN303 (2. sada) .....	75
Tab. 14 Test nesměrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN303 (2. sada).....	75
Tab. 15 Nastavení automatiky OZ pro VN303 .....	76
Tab. 16 Test 3-pólového OZ pro VN303 .....	76
Tab. 17 Test 1-pólového OZ pro VN303 .....	76
Tab. 18 Test frekvenční ochrany pro VN303 .....	76
Tab. 19 Měření náběhové hodnoty $U_0$ při ZRP (nastaveno 30 V) pro VN303 .....	77
Tab. 20 Měření času vypnutí od $U_0$ při ZRP pro VN303.....	77
Tab. 21 Výsledky testů dalších ochranných funkcí a měření pro VN303 .....	77
Tab. 22 Výsledek diagnostiky ochrany pro VN303 .....	77
Tab. 23 Základní informace o testované ochraně v kobce č.12 .....	77
Tab. 24 Nastavení nadproudové ochrany pro VN393 .....	78
Tab. 25 Test směrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada).....	78
Tab. 26 Směrová nadproudová ochrana pro VN393 – dynamické přepínání parametrů (1. sada) .....	79
Tab. 27 Test nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada).....	79
Tab. 28 Nesměrová nadproudová ochrana pro VN393 – dynamické přepínání parametrů (1. sada) ..	80
Tab. 29 Test směrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN393 (2. sada) .....	80
Tab. 30 Test nesměrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN393 (2. sada).....	80
Tab. 31 Nastavení automatiky OZ pro VN393 .....	81
Tab. 32 Test 3-pólového OZ pro VN393 .....	81
Tab. 33 Test 1-pólového OZ pro VN393 .....	81
Tab. 34 Test frekvenční ochrany pro VN393 .....	81
Tab. 35 Měření náběhové hodnoty $U_0$ při ZRP (nastaveno 30 V) pro VN393 .....	82
Tab. 36 Měření času vypnutí od $U_0$ při ZRP pro VN393.....	82
Tab. 37 Výsledky testů dalších ochranných funkcí a měření pro VN393 .....	82
Tab. 38 Výsledek diagnostiky ochrany pro VN393 .....	82
Tab. 39 Základní informace o testované ochraně v kobce č.17 .....	82

Tab. 40 Nastavení nadproudové ochrany pro T101 .....	83
Tab. 41 Test nadproudové ochrany pro T101 .....	83
Tab. 42 Nastavení přepětové ochrany pro T101 .....	84
Tab. 43 Test náběhové hodnoty 1. přepětového stupně T101 .....	84
Tab. 44 Měření času náběhu 1. přepětového stupně T101 .....	84
Tab. 45 Test náběhové hodnoty 2. přepětového stupně T101 .....	84
Tab. 46 Měření času náběhu 2. přepětového stupně T101 .....	84
Tab. 47 Test napětové nesymetrie T101 .....	84
Tab. 48 Výsledek diagnostiky ochrany T101 (22 kV) .....	84
Tab. 49 Základní informace o testované ochraně v kobce č.29 .....	85
Tab. 50 Nastavení nadproudové ochrany pro T102 .....	85
Tab. 51 Test nadproudové ochrany pro T102 .....	85
Tab. 52 Nastavení přepětové ochrany pro T102 .....	86
Tab. 53 Test náběhové hodnoty 1. přepětového stupně T102 .....	86
Tab. 54 Měření času náběhu 1. přepětového stupně T102 .....	86
Tab. 55 Test náběhové hodnoty 2. přepětového stupně T102 .....	86
Tab. 56 Měření času náběhu 2. přepětového stupně T102 .....	86
Tab. 57 Test napětové nesymetrie T102 .....	86
Tab. 58 Výsledek diagnostiky ochrany T102 (22 kV) .....	87
Tab. 59 Porovnání naměřených vypínacích časů vybraných ochran .....	93

# Úvod

Elektrická energie je již více než sto let neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života. Zatímco na konci 19. a začátkem 20. století, kdy byla započata elektrifikace, byla dodávka elektrické energie brána něco jako luxusní zboží, v dnešní době se jedná o naprostou samozřejmost, bez které si nedokážeme představit náš každodenní život.

S postupem doby se kladou stále vyšší a vyšší požadavky na spolehlivost dodávky elektrické energie, která je nezbytně nutná pro chod naší společnosti a i krátké výpadky v jejich dodávkách mohou způsobit nemalé škody. Pro zajištění bezpečného a spolehlivého chodu elektrizační soustavy a minimalizaci případných škod při poruchových stavech je nezbytné použití elektrických ochrany.

Elektrické ochrany za dobu svojí existence prošly poměrně velkým vývojem. Od obyčejných pojistek, které s trochou nadsázky můžeme považovat za první elektrické ochrany, přes elektromechanické, elektronické až po dnešní digitální. Moderní digitální ochrany již nejsou jednoúčelová zařízení, která slouží pouze k ochraně elektrizační soustavy. Jedná se o vysoce sofistikovaná multifunkční zařízení, která zajišťují veškeré monitorovací, řídicí a ochranné funkce.

Cílem této diplomové práce je přiblížit problematiku diagnostiky ochrany, kterou je nutné provádět v pravidelných intervalech k zajištění bezpečného a spolehlivého chodu chráněného zařízení a celé elektrizační soustavy. V teoretické části budou probrány základní principy fungování elektrických ochrany, jejich konstrukce a použití v distribučních sítích. Praktická část se pak zabývá nejen problematikou testování digitálních multifunkčních ochrany SIPROTEC 7SJ85, ale také jsou zde zmíněné další nezbytné činnosti nutné k zajištění spolehlivé a bezpečné funkce ochrany a tím i celé elektrizační soustavy.

# 1 Teoretický rozbor ochran a jištění

Při provozování elektrizační soustavy (ES) se v jejím rozvodu vyskytují poruchové stavy, které ohrožují její bezpečný a spolehlivý provoz. Tyto poruchové stavy, ať už vznikají působením vnitřních, nebo vnějších vlivů, bohužel nelze zcela odstranit. Následky jejich působení však můžeme minimalizovat za pomoci elektrických ochran. Elektrické ochrany hrají podstatnou roli pro zvýšení spolehlivosti, bezpečnosti a minimalizaci škod na elektrickém zařízení při poruchových stavech. V této a následujících kapitolách bude probrána problematika chránění sítí s důrazem zejména na distribuční sítě vysokého a velmi vysokého napětí z pohledu elektrických ochran. Chránění sítí nízkého napětí není předmětem této práce.

## 1.1 Základní pojmy

Pro další výklad si bude vhodné definovat dva základní pojmy z oboru ochran, a to význam pojmů ochrana a chráněný objekt.

### 1.1.1 Definice ochrany

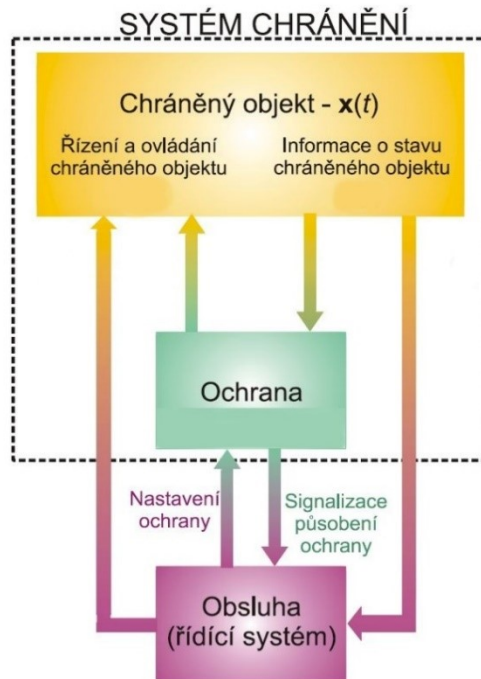
Elektrická ochrana je jednou z nejdůležitějších součástí systému chránění. Jejím úkolem je kontrolovat chod části ES a na základě nastavených parametrů (charakteristik) rozhodnout, zda se objekt nachází v jednom z následujících stavů:

- **Normální provozní stav** – Nejsou překročené nastavené hodnoty stavových veličin, ochrana nereaguje.
- **Mimořádný provozní stav** – Dochází k překročení nastavených hodnot, avšak jejich hodnota stále umožňuje provoz zařízení. Ochrana signalizuje překročení nastavených mezí, případně je-li to možné, může vydat povel k úpravě těchto hodnot.
- **Poruchový stav** – Ochrana vydává povel k zásahu akčního prvku, nejčastěji vypínače.

Vstupní informace, které ochrana zpracovává a na základě kterých vyhodnocuje stav chráněného objektu, jsou obvykle získávány pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, ale také podle dalších vstupních údajů od různých čidel či například stavových stavů spínacích prvků soustavy. Blíže budou elektrické ochrany probrány v dalších kapitolách. [1] [2]

### 1.1.2 Chráněný objekt

Jedná se o určitou část ES, fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Tato zařízení slouží k výrobě, transformaci, přenosu a rozvodu elektrické energie do místa spotřeby. Mezi chráněné objekty tedy patří např. synchronní generátory, transformátory, vedení apod. ES je pak množina navzájem propojených chráněných objektů. Okamžitou funkci chráněného objektu můžeme určit pomocí stavových veličin, jejichž velikost charakterizuje současné chování objektu. Stavovými veličinami jsou v oblasti ochran např. napětí, proud, kmitočet, okamžitý výkon. Spolupráce mezi chráněným objektem, ochranou a obsluhou (řídícím systémem) je znázorněna na Obr. 1. [1] [4] [5]



Obr. 1 Interakce mezi chráněným objektem, ochranou a řídicím systémem [3]

Pro potřeby ochrany je velmi důležité znát fyzikální podstatu chráněného objektu a jeho chování v různých provozních stavech, tedy znát jeho technické údaje a případné následky jejich nedodržení. Matematický model chráněného objektu je soubor vztahů, které popisují chování objektu. Chráněný objekt má často i více matematických modelů. Záleží na typu úlohy, kterou řešíme, žádané přesnosti a složitosti. Matematický model můžeme vyjádřit následujícími základními matematickými modely. [1] [2]

- **Náhradní schéma** – Grafický model, vyjadřující základní vazby mezi prvky chráněného objektu. Nutný při každém návrhu.
- **Vektorová diferenciální rovnice** – Popisuje dynamické chování objektu a je platný i pro přechodné stavy.

Základní rovnice obvodu s indukčnostmi je:

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) \quad (1.1)$$

Pro kapacitní proud pak platí:

$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt} \quad (1.2)$$

- **Vektorová diferenční rovnice** – Pro potřeby digitálních ochrany, potřebujeme převedení diferenciální rovnice do konečného počtu kroků, jelikož zpracování signálu neprobíhá spojitě, ale v jednotlivých krocích  $x_k$ . Tento proces nazýváme vzorkování. Vzorkování v konstantním intervalu  $\Delta t$  nám umožní nahradit derivace diferencemi:

$$\Delta x(t) = \Delta t \cdot \frac{dx(t)}{dt} \quad (1.3)$$

- **Impedanční rovnice** – Slouží k výpočtu ustálených harmonických stavů.

$$i(t) = I_{max} \cdot e^{[j(\omega t + \varphi_i)]} \quad (1.4)$$

$$u(t) = U_{max} \cdot e^{[j(\omega t + \varphi_u)]} \quad (1.5)$$

$$Z = R + jX = \frac{u(t)}{i(t)} = \frac{U_{max}}{I_{max}} \cdot e^{[j(\varphi_u - \varphi_i)]} \quad (1.6)$$

- **Fázorový diagram** – Geometrický model objektu, odpovídající impedanční rovnici (1.7), kde napětí i proudy jsou orientovanými úsečkami.

$$U = Z \cdot I \quad (1.7)$$

- **Impedanční charakteristika** – Znázornění chráněného objektu v komplexní rovině, přičemž se obvykle tato impedance parametrizuje některou z proměnných objektu.

## 1.2 Poruchy

Poruchu lze definovat jako nebezpečný stav, při kterém je ohrožen bezpečný a spolehlivý provoz jednotlivých částí (prvků) nebo dokonce celé ES. Poruchy jsou také nejčastějším důvodem výpadků dodávek elektrické energie. Příčiny, podle jejich vzniku, můžeme rozdělit na externí a interní. [6]

### Externí příčiny

- atmosférické vlivy (vítr, bouřka, mráz, sníh apod.) – ovlivňují zejména venkovní vedení
- náhodné vlivy – dotyk s cizími částmi, např. pád větví, ptáci, výkopové práce apod.

### Interní příčiny

- chybná manipulace obsluhy
- chybné působení ochrany
- porucha prvků sítě např. vlivem opotřebení, napěťovým nebo tepelným namáháním apod.

Poruchy můžeme také rozdělit z hlediska doby trvání na **přechodné** (krátkodobé) a **trvalé** (dlouhodobé). Při přechodných poruchách může být zařízení po určité době uvedeno zpět do provozu, obvykle se tak děje automaticky pomocí automatik opětovného zapínání a doba výpadku se pak může zkrátit jen na desetiny sekundy. V případě trvalých poruch je zapotřebí zařízení opravit, popřípadě jej nahradit novým. [6]

### 1.2.1 Poruchové stavy

V této podkapitole budou stručně probrány poruchové stavy, které se často vyskytují v elektrizační soustavě.

#### Zkrat

Elektrický zkrat je vzájemné vodivé spojení dvou nebo více pólů s rozdílným potenciálem. Jedná se o nejčastější a zároveň nejzávažnější typ poruchy v ES. Proud protékající místem zkratu mohou dosahovat velmi vysokých hodnot a tím způsobit vážná poškození na elektrickém zařízení či ohrozit zdraví a životy osob. Jejich vzniku se snažíme zamezit, ale vyloučit je nedokážeme. Rozlišujeme elektrické zkraty kovové nebo obloukové. Z hlediska velikosti přechodné impedance v místě poruchy pak rozeznáváme zkraty nízkohybné (přímé spojení dvou fází, obloukový zkrat) a



vysokoimpedanční (např. pád vodiče na špatně vodivý materiál jako je štěrk, asfalt apod.). Zkratové proudy působí na elektrické zařízení a své okolí zejména těmito negativními jevy: [4] [8]

- tepelné namáhání
- mechanické namáhání (dynamické účinky)
- zvýšení potenciálu země na nebezpečné hodnoty
- galvanicky či elektromagnetickou indukci přeneseným napětím do elektronických zařízení
- poklesem napětí

V třífázové elektrizační soustavě se může vyskytnout šest typů zkratů, které můžeme rozdělit na souměrné a nesouměrné zkraty: [7] [4]

#### Souměrné zkraty

- **Trojpolový zkrat** – vzniká při spojení všech tří fází ve stejném místě. Dochází při něm k výraznému poklesu napětí a všechny vodiče vedou stejný zkratový proud. Vzniká nejčastěji v kabelových vedeních, jako důsledek tepelného namáhání izolace elektrickým obloukem při jiných typech zkratů nebo zemním spojení.
- **Trojpolový zemní zkrat** – současné spojení všech tří fází se zemí v sítích s účinně uzemněným uzlem transformátoru.

#### Nesouměrné zkraty

- **Dvojpolový zkrat** – vzájemné spojení dvou libovolných fází v jednom místě.
- **Dvojpolový zemní zkrat** – současné spojení dvou fází se zemí v sítích s účinně uzemněným uzlem.
- **Jednopolový zkrat** – spojení jedné z fází se zemí v sítích s účinně uzemněným uzlem. Spolu se zemním spojením (spojení fáze se zemí v sítích s neúčinně uzemněným uzlem) se jedná o nejčastější poruchu a tvoří přibližně 95 % všech poruch na vedení.
- **Simultánní zkrat** – speciální případ zemního spojení, kdy dojde k současnému spojení dvou různých fází se zemí na dvou různých místech.

#### Přetížení

Při proudovém přetížení dochází ke zvýšenému tepelnému namáhání chráněného objektu. To má za následek snížení životnosti izolace a některých prvků vedení. Jedná se zejména o místa, která mají zvýšený přechodový odpor, tedy místa různých spojů a kontaktů. Míra poškození je závislá na teplotě a době jejího působení. [4]

#### Zemní spojení

Je přímé spojení jedné z fází se zemí v sítích, kde uzel zdroje není účinně uzemněn. Takto jsou v ČR nejčastěji provozované sítě vysokého napětí. Jeho důsledkem dochází ke zvýšení napětí v nepostižených fázích až na sdružené napětí proti zemi. Tím se zvyšuje riziko následného zkratu vlivem namáhání izolace. [9]

## **Přepětí**

Při přepětí dochází ke zvýšenému namáhání izolace a tím se zvyšuje riziko zkratu, který může vzniknout při jejím průrazu. Dochází k němu například při zemním spojení. [9]

## **Podpětí**

Může vést k proudovému přetížení. Jeho příčiny mohou být nedostatečná kompenzace, přetížení či porucha regulace napětí. [1]

## **Snížení kmitočtu**

Je nejčastěji důsledkem nedostatku činného výkonu dodávaného synchronními generátory do sítě. Zpravidla je nutné zvýšit vyráběný výkon nebo snížit spotřebu. Jednou z možností snížení spotřeby je použití hromadného dálkového ovládání. Opačným problémem je pak zvýšení kmitočtu, kdy naopak dochází k přebytku činného výkonu v síti. Snížení nebo zvýšení frekvence má negativní vliv zejména na provoz točivých strojů. [2] [10]

## **Nesouměrnost proudů**

Je nebezpečná zejména u točivých synchronních a asynchronních strojů. Zpětná složka proudu způsobuje vznik vířivých proudů a tím způsobuje zahřívání těchto strojů. [1]

## **Nesouměrnost napětí**

Způsobuje nesouměrnost proudů, příkladem může být chod motoru na dvě fáze. [1]

## **Zpětný tok výkonu**

Velmi nebezpečná porucha pro točivé stroje. Při zpětném toku výkonu hrozí přechod z generátorového režimu do motorového, čímž hrozí mechanické poškození stroje. [9]

## **Ztráta buzení**

Zmenšení budícího proudu synchronních strojů pod mez statické stability. Následkem je snížení napětí a asynchronní chod stroje. [1]

# **1.3 Elektrické ochrany**

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.1.1, elektrická ochrana je jednou z nejdůležitějších součástí systému chránění. Fyzicky je provedena jako elektromechanické, elektronické nebo digitální slaboproudé zařízení, jehož hlavním úkolem je v případě poruchy co nejrychleji odpojit chráněný objekt od napětí. Ochrana získává informace o stavu chráněného zařízení prostřednictvím sekundárních obvodů přístrojových transformátorů proudu a napětí, případně pomocí dalších připojených čidel (teplotní, záblesková apod.). [11]

Pro elektrické ochrany v obvodech nízkého napětí (400/230V) se často používá pojem jistící přístroje. Jde o konstrukčně relativně jednoduchá a levná zařízení, která jsou připojena přímo na silové obvody nízkého napětí. Patří sem např. různé typy jističů, pojistek, tepelných relé apod. Tento typ ochrany není účelem této práce a detailněji nebude probírán. S vyšší napěťovou hladinou pak rostou požadavky kladené na elektrické ochrany, jako jsou spolehlivost, odolnost, rychlost, přesnost, selektivita apod. Samozřejmě s vyššími požadavky na ně kladenými roste i jejich složitost a cena. [11]

Moderní digitální elektrické ochrany jsou technologicky vysoce pokročilá zařízení. Kromě jejich primárního účelu chránění, plní i další důležité úkoly, jako je monitoring sítí, ukládání poruchového záznamu pro pozdější rozbor, umožňují dálkovou správu a lze s nimi dálkově ovládat prvky elektrizační soustavy.

## 1.4 Požadavky kladené na elektrické ochrany

Vzhledem k důležitosti, kterou zastávají elektrické ochrany v elektrizační soustavě, jsou na ně kladeny vysoké nároky. Zejména se jedná o následující požadavky, které musí splňovat.

### Spolehlivost

Schopnost ochrany vykonávat operace podle předem daného vnitřního algoritmu ochrany ve stanoveném čase s požadovanými parametry při splnění všech technických podmínek z pohledu chráněného objektu. Celkovou spolehlivost ochrany můžeme rozdělit do dvou kategorií: [8]

- **Funkčnost** – určuje pravděpodobnost, že ochrana bude správně působit. Je to tedy schopnost ochrany eliminovat vlastní poruchové stavy v běžném provozu. Teoreticky lze zvýšit funkčnost zařazením paralelního redundantního ochranného prvku např. použitím dvou paralelně zapojených distančních ochran, přičemž jednu z nich můžeme označit jako hlavní a druhou záložní. Tohoto se využívá např. u chránění důležitých napájecích vedení. [8]
- **Bezpečnost** – pravděpodobnost, že ochrana nebude působit správně. Chybné působení může být způsobeno vlastním provedením ochrany nebo i lidským faktorem. Bezpečnost působení ochrany můžeme zvýšit použitím sériově zapojeného redundantního ochranného prvku. [8]

Je zřejmé, že požadavky na funkčnost a bezpečnost jsou protichůdné. Při návrhu ochran je potřeba pečlivě zvážit použití redundantních ochran se všemi riziky, které vyplývají z jednoho nebo druhého způsobu použití. [8]

S pojmem spolehlivosti také úzce souvisí pojem odolnost ochrany. Je to schopnost ochrany odolávat mnoha vlivům, které mohou ochranu poškodit. Mezi tyto vlivy můžeme zařadit prašné prostředí, vliv agresivních plynů, vlhkost, otřesy apod. U moderních číslicových ochran je velmi důležitá jejich odolnost vůči magnetickým a elektrickým polím, které vznikají zejména při zkratech. [1]

### Selektivita

Schopnost elektrické ochrany nebo systému ochran vypnout pouze poruchou postiženou část elektrizační soustavy, přičemž část bez poruchy musí zůstat v provozu. Pro správnou selektivní funkci ochran je tedy rozhodující, aby došlo pouze k reakci ochranného prvku nejbližší poruchy. To může být realizováno následujícími způsoby: [2] [4] [8]

- Časovým odstupňováním vypínacích časů.
- Odstupňováním úrovně nastavené veličiny (proud, napětí, impedance)
- Určením směru toku výkonu během poruchy.
- Amplitudové nebo fázové porovnání (použití rozdílových a srovnávacích ochran).
- Zpracováním více veličin současně (distanční ochrany).

- Logickým blokováním ochran – např. využití tzv. LOR (logická ochrana rozvodny), která umožňuje zkrácení vypínacích časů některých ochran v rozvodně.
- Kombinace výše uvedených metod, za účelem zkrácení vypínacího času.

## Rychlost působení

Je reakční čas ochrany od identifikace poruchy až po vyslání vypínacího povelu. Úkolem ochrany je zajištění vypnutí zkratů v co nejkratším čase. Avšak ne vždy je požadavek na co nejrychlejší vypnutí. Rozhodující roli hrají následující faktory: [8]

- selektivita
- minimalizace škod
- zachování dynamické stability soustavy
- snížení rizika úrazu osob
- zkrácení času provozu spotřebičů při nižším napětí a tím při zvýšeném proudovém odběru

Celkový čas vypnutí poruchy se pak skládá z času působení ochrany a času vypnutí vypínače. Toto je potřeba vzít v úvahu, při návrhu a dimenzování prvků elektrizační soustavy. [8]

## Citlivost

Citlivost ochrany definujeme jako nejnižší hodnotu stavové veličiny, při které ochrana bude spolehlivě působit. Ochrana přitom musí mít dostatečnou citlivost při poruchách a jiných mimořádných stavech, ale nesmí být příliš citlivá, aby nedocházelo k chybnému působení např. při poruchách, které jsou mimo chráněný objekt, při přechodných jevech apod. S citlivostí ochrany souvisí i **přesnost ochrany**, což je poměrná chyba citlivosti, vyjádřená v procentech, viz následující vzorec: [2] [4]

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.8)$$

kde:

$p$  – je přesnost el. ochrany

$x$  – nastavená citlivost el. ochrany

$x_a$  – rozsah možného nastavení el. ochrany

$x_b$  – skutečná citlivost el. ochrany

## Uživatelská přívětivost

Ochrana nebo systém ochran by měl být navržen s ohledem na přehlednost, jednoduchost a přitom v sobě integroval všechny potřebné funkce. Uživatelská přívětivost ovládání je zejména důležitá u moderních digitálních ochran, které v sobě integrují velké množství funkcí a umožňují nastavení stovek různých parametrů. [8]

## 1.5 Základní členy ochran

Ochrana se skládá z několika dílčích částí (členů), přičemž každá z nich plní různé úkoly. Mezi základní členy ochran patří: [9]

- vstupní člen
- popudový člen
- měřící člen
- logika ochrany
- časový člen
- koncový člen
- napájecí člen
- filtry souměrných složek proudu a napětí

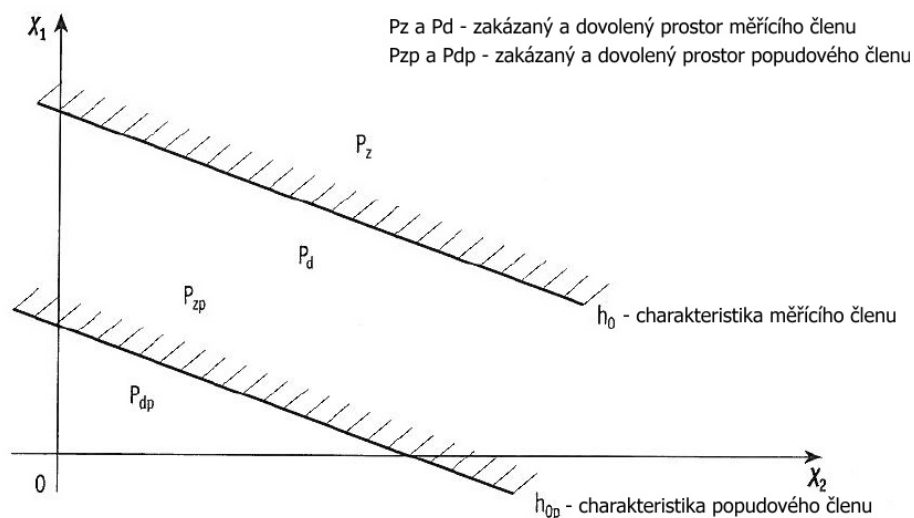
Ne každá ochrana musí obsahovat všechny členy, naopak některé ochrany obsahují i další členy, které nejsou výše zmíněné např. směrový člen. Na její provedení mají vliv požadované funkce a složitost algoritmu ochrany. [4]

### 1.5.1 Vstupní člen

Obvykle je na vstupní svorky ochran přiváděno napětí z přístrojových transformátorů proudu a napětí, kde jmenovité vstupní hodnoty jsou 100 V (PTN), 5 A nebo 1 A (PTP). Pro potřeby dalších členů ochran je však potřeba tyto hodnoty převést na úroveň jednotek voltů a miliampér. Úkolem vstupního členu je tedy převedení vstupní veličiny na dále zpracovatelný tvar a úroveň, může galvanicky oddělovat vnitřní obvody ochrany a sloužit k ochraně před elektromagnetickým rušením. Fyzicky je převod vstupní veličiny realizován pomocí bočníků, děličů nebo transformátorů. Pokud měřící člen ochrany vyžaduje stejnosměrný signál, je vstupní člen vybaven usměrňovačem. Speciální skupinou jsou pak vstupní členy digitálních ochran. Ty jsou vybaveny A/D převodníky, sloužící k převodu analogového signálu na digitální. [9]

### 1.5.2 Popudový člen

Zabezpečuje rozběh ochrany při vzniku poruchy v síti. O tom, zda se porucha nachází na chráněném objektu a je tudíž v kompetenci dané ochrany, rozhoduje logika ochrany a měřící člen. Popudový člen zajišťuje pouze rozběhnutí těchto částí ochrany na základě přiváděné vstupní stavové veličiny ze vstupního členu. Popudový a měřící člen se nemusí od sebe lišit. Pokud je to vhodné, můžou mít i podobnou charakteristiku, avšak popudový člen bývá citlivější, než měřící člen. Příklad je uveden na Obr. 2. U starších elektromechanických a elektronických ochran je popud často součástí měřícího členu jako jeho nejcitlivější část. Naopak u digitálních ochran je řešen jako samostatný člen ochrany. [2] [9]



Obr. 2 Charakteristiky měřicího a popudového členu [4]

### 1.5.3 Měřicí člen

Jde o nejdůležitější člen, který rozhoduje o tom, v jakém stavu se chráněný objekt nachází. Měřicí člen a algoritmus ochrany určují většinu vlastností ochrany, zejména pak selektivitu, citlivost a přesnost. Na jeho vstup se přivádí obvykle proud nebo napětí úměrné hodnotě stavové veličině. Podle zadané charakteristiky pak měřicí člen určuje aktuální stav objektu. Měřicí členy napěťové, proudové či kmitočtové ochrany mají společnou vlastnost, měří amplitudu střídavého napětí nebo proudu. Z tohoto důvodu je vhodné posuzovat měřicí členy podle charakteru funkce a nikoliv podle měřené fyzikální veličiny. Rozeznáváme dva základní typy měřících členů: [4] [9]

- amplitudový měřicí člen
  - nezávislý měřicí člen
  - závislý měřicí člen
  - rozdílový měřicí člen
  - součinnový měřicí člen
  - amplitudový komparátor
- fázový měřicí člen – fázový komparátor

### 1.5.4 Logika ochrany

Na základě informací z měřicího a časového členu a pomocí booleovské logiky, určuje činnost koncového členu. Všechny vstupy a výstupy musí být logické jedničky nebo nuly. Booleovská logika je pak realizována funkcemi AND, OR, XOR, NOT.

Typ logického členu pak záleží na fyzickém provedení ochrany. Realizovat je ho možné klasickými relé, diodami, tranzistory, integrovanými obvody nebo u digitálních ochrany technickým a programovým vybavením. [4]

### 1.5.5 Časový člen

Slouží ke zpoždění působení ochrany. Zpoždění je třeba použít v následujících případech: [9]

- K zajištění selektivního působení ochrany – díky tomu dojde k vybavení ochrany co nejdříve k poruše.
- Ponechání akumulace energie v objektu – např. časově omezené přetížení objektu, pokud nedojde k ohrožení objektu. Jde vlastně o jednodušší náhradu závislého měřicího členu.
- Eliminace chybného působení ochrany – jedná se zejména o eliminaci působení ochrany při přechodových dějích a poruchách s krátkou dobou trvání.

### 1.5.6 Koncový člen

Nejčastěji se jedná o elektromagnetické relé s výkonovými kontakty, které má na cívku přivedený signál z logiky ochrany. Přes spínací kontakty relé je přivedeno napětí na akční prvek např. na cívku výkonového vypínače, přičemž kontakty musí snést dostatečné proudové zatížení a koncový člen musí mít dostatečnou odolnost proti vnějšímu rušení. [4]

### 1.5.7 Napájecí člen

Napájecí člen slouží k napájení jednotlivých částí ochrany, které to pro svoji činnost vyžadují. Existuje několik způsobů napájení ochrany: [1] [4]

- Ochrany bez pomocného napájení – pro svoji činnost nepotřebují pomocný zdroj energie. Jedná se o některé jednoduché typy elektromechanických ochrany např. reléová nadproudová ochrana A15.
- Přímé napájení ze staniční akumulátorové baterie – jde o častý způsob napájení ochrany. Vyznačuje se vysokou spolehlivostí, avšak i přes pokrok v konstrukci akumulátorů, klade stále určité nároky na údržbu.
- Napájení přes stabilizátor nebo napěťový měnič ze staniční akumulátorové baterie – vhodné zejména pro digitální a elektronické ochrany, které vyžadují lepší stabilizaci a filtraci napájecího napětí. Tyto ochrany můžou být doplněné o akumulátor přímo umístěný v ochraně, který je spojen s vnějšími obvody jen po dobu nabíjení.
- Napájení z přístrojových transformátorů – není třeba staniční baterie. Vhodnější je použít napájení z PTP, jelikož při poruše může docházet k výraznému poklesu napětí. Pro napájení moderních digitálních ochrany se nepoužívá.
- Napájení přímo ze střídavé sítě – kvůli nízké spolehlivosti se používá velmi málo.

### 1.5.8 Filtry souměrných složek proudu a napětí

Jedná se o zvláštní skupinu členů, které se používají v měřících a popudových členech. Pomocí souměrných složek proudu a napětí je možné rozlišit různé druhy nesymetrických poruch. [9]

## 1.6 Provedení elektrických ochran

Z hlediska fyzického provedení a použitých stavebních prvků prošly ochrany za dobu svého vývoje třemi hlavními vývojovými stupni: [4]

- elektromechanické ochrany
- elektronické ochrany
- digitální ochrany

### 1.6.1 Elektromechanické ochrany

Vývojově nejstarší generace ochran, které se však stále používají. Jde o analogové ochrany, jejichž základem jsou elektromagnetická relé, která jsou elektricky nebo mechanicky různě propojená a vzájemně spolupracují. Každý přístroj obvykle slouží pouze k jedné ochranné funkci a pro komplexní ochranu objektu je nutné použít několik typů těchto přístrojů. Jelikož obsahují mechanicky pohyblivé části, vyžadují náročnější údržbu oproti elektronickým nebo digitálním ochranám. Naopak jejich výhodou je možnost jednoduché, rychlé a levné opravy. [4]



Obr. 3 Elektromechanická nadproudová ochrana A32

### 1.6.2 Elektronické ochrany

Jedná se o analogové ochrany, jejichž konstrukce a funkce je založená na polovodičových součástkách – diodách, tranzistorech a integrovaných obvodech. Tento typ ochran je obvykle sestaven z funkčních bloků, které tvoří standardní moduly. Mají jen velmi málo pohyblivých částí a v porovnání s elektromechanickými ochranami mají následující výhody: [4]



- vyšší přesnost
- větší možnosti nastavení charakteristik
- kratší operační časy
- nižší nároky na údržbu
- možnost realizovat složitější algoritmy

Nevýhody pak jsou:

- nízká odolnost polovodičových součástek proti indukovaným napětím
- nutnost teplotní stabilizace elektronických obvodů

Na Obr. 4 je příklad jednoho z typů elektronických ochran. Jedná se o ochranu transformátorů RAX 1 od českého výrobce ZPA Trutnov, uvedenou na trh v roce 1978. Tento typ v sobě kombinuje jak rozdílovou, tak nadproudovou ochranu.



Obr. 4 Elektronická ochrana transformátorů RAX 1 [12]

### 1.6.3 Digitální ochrany

Tyto ochrany jsou nejmodernějším vývojovým typem elektrických ochran, které v současnosti nahrazují ochrany elektromechanické a elektronické. Často se jedná o kompaktní multifunkční zařízení, která slouží nejen ke svému primárnímu účelu – chránění, ale také umožňují plnit další významné úkoly, jako je monitorování, ovládání a řízení prvků ES. V porovnání s předchozími typy ochran patří mezi jejich hlavní výhody: [4] [13]

- vysoká přesnost a rychlost
- spolehlivost a snadná údržba
- široké možnosti nastavení a přizpůsobení
- integrace více ochranných funkcí
- možnost vzájemné komunikace mezi ochranami

- možnost dálkové správy
- modulární systém – možnosti rozšíření o další funkce
- malé rozměry a kompaktní provedení
- komfortní ovládání

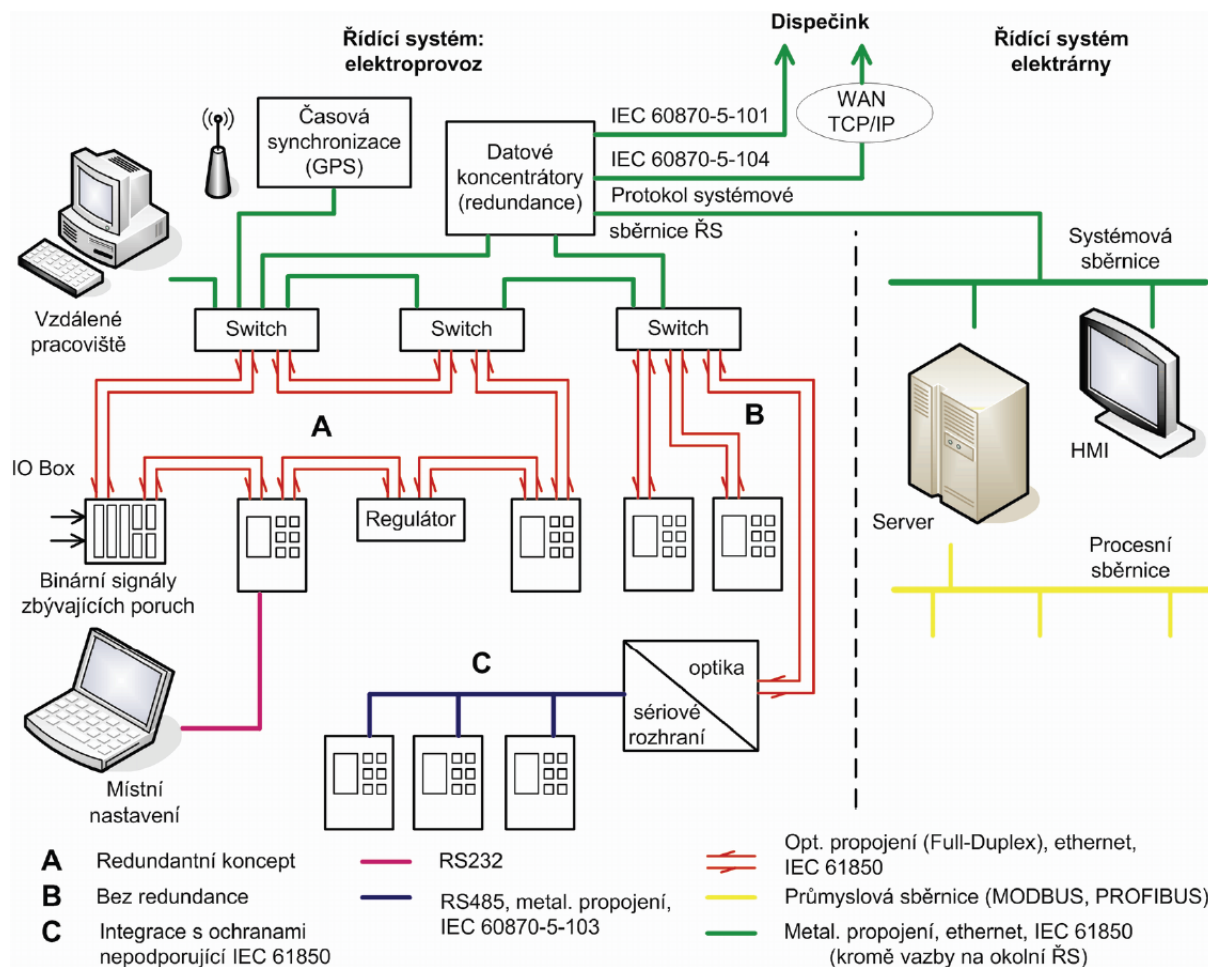
Princip jejich funkce spočívá v převodu analogového signálu na diskrétní číselné hodnoty pomocí jednoho nebo více A/D převodníků. Digitalizovaný signál je následně přiveden do mikroprocesorového systému, kde jsou vedle měřených veličin zpracovávány jednotlivé ochranné a řídicí funkce. Je zde také rozhodováno o vypínacích nebo zapínacích poveleních. Ochrany rovněž disponují vnitřní pamětí pro ukládání hlášení a poruchových záznamů k pozdější analýze. [4] [13]



Obr. 5 Digitální nadproudová ochrana SIPROTEC 7SJ63

## 1.7 Komunikace ochran

Aby ochrana řádně plnila svoji funkci, potřebuje přijímat a odesílat základní signály, jako jsou měřené veličiny (např. napětí a proud), binární vstupy (např. stavy odpojovačů, vypínače) a výstupy (např. vypínací a zapínací povely). V posledních letech však vznikají zvýšené potřeby datové komunikace mezi ochranami a dalšími technologickými zařízeními ES. Moderní ochrany v dnešní době neslouží jen k chránění, ale také k monitoringu a ovládání prvků sítě a lze je dálkově spravovat. Z těchto a dalších důvodů musí umožňovat datovou komunikaci se svým okolím. Pro tyto účely byly v nedávné době vyvinuty komunikační protokoly pro ochrany, které detailně specifikují strukturu a význam předávaných dat (aplikační vrstva systému komunikace). Fyzická vrstva (nižší vrstvy systému komunikace) se naopak v těchto protokolech nijak speciálně neupravuje. Díky tomu lze využít obecně platných standardů jako je např. ethernet TCP/IP. Výsledkem je podoba dnešních moderních digitálních ochran tzv. Intelligent Electronic Device – IED. [8]



Obr. 6 Komunikační infrastruktura s integrací ochran do řídicího systému [8]

Od moderních ochran a jejich komunikační infrastruktury je v současné době vyžadováno plnění zejména těchto funkcí:

**Místní přístup k ochraně** – Zejména za účelem konfigurace ochrany, vytvoření její zálohy nebo stažení uložených poruchových záznamů. Přístup je obvykle řešen pomocí sériového rozhraní RS232. U nejnovějších typů ochran se již používá rozhraní USB. [8]

**Dálkový přístup k ochraně nebo systému ochran** – Je nezbytný pro stažení a archivaci dat z ochran, možnost dálkové konfigurace ochrany, monitorování provozních měření v reálném čase a vzájemnou rychlou horizontální komunikaci mezi ochranami s integrací ochran do nadřazeného řídicího systému. To klade nároky na přenosovou rychlost sítě, která je v současnosti nejčastěji řešena pomocí LAN sítě ethernet, přenosové rychlosti 100 Mbit/s a 1 Gbit/s. Mezi jednotlivými IED je komunikace řešena pomocí protokolu IEC 61850, který slouží k efektivnímu přenosu měřených veličin, poruchových stavů, řídicích veličin a také k ovládání prvků ES. Vertikální komunikace využívá principu master-slave. Pro přenos důležitých informací, které vyžadují nejvyšší časovou prioritu, se využívá přenosu pomocí tzv. GOOSE zpráv na horizontální úrovni. GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) je objektově orientovaná událost rozvodny, kde stavová data a hodnoty proměnných jsou seskupeny do tzv. data

setů a přenášena v jednotném časovém intervalu. Na tuto komunikaci jsou kladeny vysoké požadavky, kdy od vzniku události do odeslání zprávy nesmí uplynout více než 4 ms. [8] [14]

## 1.8 Měřicí zařízení pro ochrany

Úkolem měřících zařízení, je přivádět na analogové vstupy ochrany dostatečně přesné měřené hodnoty stavových veličin chráněného objektu, které je ochrana schopna dále zpracovat. Jednoznačně největší část měřících zařízení pro ochrany tvoří přístrojové transformátory proudu a napětí. V menší míře se pak můžeme setkat s různými typy senzorů a čidel jako např. teplotní senzory nebo optické senzory pro zábleskové ochrany. Rovněž existují senzory pro měření napětí a proudů, ty se však pro účely chránění téměř nepoužívají. Využívají se zejména k signalizaci přítomnosti napětí nebo orientačnímu měření proudů. [8]

Hlavní důvody použití přístrojových transformátorů jsou: [9]

- Transformovat vysoké primární hodnoty proudů a napětí na normalizované hodnoty, které jsou schopny zpracovat analogové vstupy ochrany.
- Izolace obvodů vn, vvn a zvn od obvodů nn, které jsou zapojené v ochraně. Tím je zajištěna bezpečnost obsluhy a zjednodušena konstrukce přístrojů.
- Ochrany a měřicí přístroje lze umístit mimo dosah silných magnetických a elektrických polí.
- Umožňuje sčítat nebo odečítat proudy nebo napětí z několika oddělených obvodů

Přístrojové transformátory se dělí podle typu zařízení, které připojujeme na jejich sekundární obvody: [9]

- Měřicí transformátory – jsou určeny pro měřicí přístroje (např. elektroměry). Vyžaduje se u nich vysoká přesnost, zejména v okolí jmenovitých hodnot. U přechodových jevů (zkrat, přepětí apod.) není vysoká přesnost tak podstatná.
- Jistící transformátory – jsou určeny pro připojení ochrany. Je u nich vyžadována vysoká přesnost při velkých proudech a podpětích. Při normálním provozu se tak vysoká přesnost jako u měřících transformátorů nepožaduje. Je na ně kladen také požadavek velké rychlosti přenosu.

### 1.8.1 Přístrojové transformátory proudu (PTP)

Primární vinutí PTP se zapojuje do série s měřeným silnoprůdným zařízením a je tvořeno zpravidla jedním závitem, který je přímo vodičem silového okruhu, kolem kterého je umístěno sekundární vinutí v podobě toroidního jádra. Sekundární vinutí, které obsahuje velký počet závitů, je pak připojeno k analogovým proudovým vstupům v ochraně, elektroměru nebo jiným měřicím přístrojům. Tyto vstupy musí mít co nejmenší vnitřní impedanci, aby PTP pracoval ve stavu nakrátko.

Jak již bylo výše uvedeno, PTP můžeme rozdělit podle typu použitého jádra na měřicí a jistící. V praxi se často používají PTP, které mají několik sekundárních výstupů a integrují v sobě jak měřicí, tak jistící jádro. Podle normy IEC 60044-1 se uvádějí u PTP tyto údaje: [4] [8] [9]

**Jmenovitý primární proud  $I_{1n}$**  – Efektivní hodnota primárního proudu, která je základem konstrukčního provedení transformátoru.

**Jmenovitý sekundární proud  $I_{2n}$**  – Efektivní hodnota sekundárního proudu. Používají se výhradně hodnoty 1 A nebo 5 A.

**Jmenovitý převod** – Je poměr jmenovitého primárního proudu  $I_{1n}$  k jmenovitému sekundárnímu proudu  $I_{2n}$ .

**Jmenovité nadproudové číslo** – (security factor) hodnota, při které dojde k přesycení jádra. Uvádí se pro měřící jádro.

**Maximální nadproudové číslo** – (accuracy limit factor) hodnota, při které není překročena jmenovitá třída přesnosti. Uvádí se pro jistící jádro.

**Třída přesnosti měřícího nebo jistícího jádra** – Určuje nejvyšší dovolenou chybu PTP při předepsaných podmínkách. Pro měřící transformátory proudu jsou třídy přesnosti 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 – 5 a používá se označení např. 0,5 FS5, což značí třídu přesnosti 0,5, při jmenovitém nadproudovém čísle 5.

Pro jistící transformátory proudu jsou třídy přesnosti 5P a 10P, kde písmeno P (protection) je označení jistícího jádra. Označení např. 5P 20 značí třídu přesnosti 5, při dvacetinásobku jmenovitého proudu.

**Jmenovitá zátěž (břemeno) na sekundárním vinutí** – k této hodnotě se vztahují výše uvedené parametry. Jmenovitá zátěž na sekundárním vinutí bývá volena z řady: 2,5 – 5 – 10 – 15 – 60 – 120 VA. Pomocí vzorce (1.9) lze pak určit jmenovitou impedanci.

$$Z_n = \frac{S_n}{I_n^2} \quad (1.9)$$

Součet impedancí všech připojených přístrojů nesmí překročit tuto hodnotu. Rovněž se u PTP v žádném případě nesmí rozpojit svorky sekundárního vinutí, pokud primárním vinutím protéká proud. Vzhledem ke konstrukci PTP by došlo na jeho sekundárním vinutí k indukci nebezpečně vysokých hodnot napětí, což může mít za následek proražení izolace a zničení transformátoru.

### 1.8.2 Přístrojové transformátory napětí (PTN)

PTN slouží pro napájení napěťových obvodů měřících a ochranných přístrojů. Podle způsobu provedení je můžeme rozdělit na indukční a kapacitní. [8]

Jednoznačně nejpoužívanějším typem jsou indukční PTN. Ty mají primární vinutí s velkým počtem závitů, které se připojuje paralelně k měřenému silovému obvodu. Sekundární vinutí s malým počtem závitů se pak připojuje na analogové napěťové měřící vstupy ochran, elektroměrů či jiných měřících zařízení, přičemž je požadavek co největší vnitřní impedance těchto měřících přístrojů. [9]

V posledních letech se čím dál častěji objevují kapacitní PTN. Transformace napětí na nižší napětí probíhá ve dvou stupních. První stupeň tvoří kapacitní dělič napětí, v druhém stupni je pak induktivně měřena poměrná část napětí z kapacitního děliče. Druhý stupeň dále obsahuje pomocné zařízení s prvky pro kompenzaci chyb převodu napětí. [4] [8]

Stejně jako u PTP, můžeme rozdělit PTN podle typu použitého jádra na měřící a jistící. Podle normy IEC 60044-1 se uvádějí u PTP tyto údaje: [4] [8] [9]

**Jmenovité primární napětí  $U_{1n}$**  – efektivní hodnota primárního napětí, od které se odvíjí konstrukce PTN.

**Jmenovité sekundární napětí  $U_{2n}$**  – efektivní hodnota napětí na sekundární straně PTN při jmenovité primární hodnotě napětí. Používá se výhradně hodnota 100 V (výjimečně 110 V) v případě mezifázových PTN, pro jednofázové PTN je to  $100/\sqrt{3}$  (popř.  $110/\sqrt{3}$ ).

**Třída přesnosti měřicího nebo jistícího jádra** – Určuje nejvyšší dovolenou chybu PTN při předepsaných podmínkách. Pro měřicí transformátory napětí jsou třídy přesnosti 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3. Pro jistící transformátory napětí jsou třídy přesnosti 3P a 6P, kde písmeno P (protection) je označení jistícího jádra.

**Jmenovitá zátěž (břemeno) na sekundárním vinutí** – k této hodnotě se vztahují výše uvedené parametry. Jmenovitá zátěž na sekundárním vinutí bývá volena z řady: 10 – 25 – 50 – 100 – 200 – 500 VA.

## 1.9 Chránění a norma

Ochranami rozvodných zařízení se zabývá norma ČSN 33 3051 – Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Ta stanovuje požadavky na chránění jednotlivých prvků elektrizační soustavy proti poruchám a abnormálním stavům a uplatňuje se pro návrh ochran v rozvodu vn, vvn a zvn. Pro oblast přenosu a distribuce elektrické energie stojí za pozornost zmínit následující body, které výše uvedená norma řeší: [15]

**Požadavky na systém ochran** – norma zde řeší zajištění spolehlivé činnosti ochran a kontrolu jejich funkce, chránění důležitých částí ES, požadavky kladené na vypínače a přístrojové transformátory, napájení ochran.

**Selektivita ochran** – norma se zmiňuje pouze o možných způsobech zajištění selektivního působení ochran.

**Zálohování ochran** – pro chránění zvláště důležitých částí ES je doporučeno použít dvě hlavní ochrany. V dalších částech ES je zálohování řešeno pomocí jedné hlavní a druhé záložní ochrany místní nebo vzdálené. Vzdálená ochrana zpravidla slouží jako hlavní ochrana pro vlastní část ES, ale je schopna chránit i postižený úsek sousední např. s časovým zpožděním pro zachování selektivity ochran. U záložních ochran se připouští nižší kvalita chránění.

**Ochrany transformátorů a příslušenství** – v tomto bodě jsou uvedeny požadavky na chránění transformátorů a specifikuje se zde druh ochran (např. rozdílová, nádobová, plynová), které se musí použít pro daný typ transformátorů.

**Ochrany venkovních a kabelových vedení** – norma určuje druh ochran (např. distanční, nadproudová, srovnávací), které musí být použity pro chránění daného typu vedení pro napěťové hladiny vn, vvn, zvn.

**Ochrany přípojníc, zapouzďřených rozvoden a skříňových rozvaděčů** – Pro ochranu přípojníc na rozvodně 400 kV je vyžadováno použití rozdílové ochrany přípojníc. Pro napěťové hladiny vvn (220 kV, 110 kV) je toto doporučeno u důležitých rozvoden. Zapouzďřené rozvodny zvn (vvn) je nutno vybavit ochranou proti poklesu tlaku izolačního plynu. Dále mimo jiné norma doporučuje použití zábleskových ochran u skříňových rozvaděčů vn.

**Systém ochrany při selhání vypínače** – Tento systém má sloužit jako záložní ochrana (pro rozvodny zvn a vvn) v případě selhání vypínače při poruše.

**Ostatní ochrany a automatiky** – Norma zde řeší podmínky a doporučení použití automatik opětného zapínání.

**Požadavky na přenosová zařízení ochran** – V této části normy jsou popsány základní požadavky na zařízení pro přenos signálů z ochran, např. je zde uvedeno, že pro každou kabelovou vazbu ochran mezi dvěma elektrickými stanicemi zvn, vvn musí být zajištěny dvě nezávislé spojovací cesty.

Další normou, která se detailněji zabývá provozem, návrhem a zkoušením ochran a automatik je norma PNE 38 4065-ed.4. Účelem PNE (podnikové normy energetiky) je doplnit soubor norem ČSN v oblasti elektroenergetiky. Na vzniku těchto norem se podílely organizace, které zajišťují přenos a distribuci elektrické energie v ČR. [29]

## 2 Ochrany a automatiky používané v distribučních sítích

Elektrické ochrany můžeme dělit z následujících hledisek: [2]

**Podle chráněného objektu na ochrany:** [2]

- vedení
- přípojníc
- transformátoru
- generátoru
- motoru
- speciální

**Podle druhu poruchy:** [2]

- zkratové
- nadproudové
- přepětové
- podpětové
- nadfrekvenční
- podfrekvenční
- při zemním spojení
- při zpětném toku výkonu
- při ztrátě buzení
- při nesouměrnosti

**Podle doby působení:** [2]

- Mžikové – ochrana působí bez časového zpoždění, její rychlost je omezena jen časem zpracování informace uvnitř ochrany.
- Časově závislé – ochrana působí s časovým zpožděním, které je úměrné velikosti stavové veličiny.
- Časově nezávislé – ochrana působí s konstantním časovým zpožděním.

**Podle konstrukce:** [2]

- elektromechanické
- elektronické
- digitální

**Podle funkčního principu a měřené veličiny:** [2]

- proudové
- napětové
- distanční
- rozdílové



- srovnávací
- wattové
- jalové
- frekvenční
- při nesouměrnosti

V dalším výkladu budou probrány ochrany, které se často používají při chránění distribučních sítí, rozdělené podle jejich funkčního principu. Ten určuje, jaké stavové veličiny objektu ochrana zpracovává a na základě vnitřního algoritmu rozhoduje o stavu chráněného objektu. Je potřeba zdůraznit, že moderní digitální ochrany integrují v jednom ochranném zařízení několik typů ochran. Například v distribučních sítích hojně používaná ochrana SIPROTEC 7SJ63 (Obr. 5) od firmy Siemens v sobě integruje ochranu nadproudovou, napěťovou, frekvenční, ochranu při zemních spojeních, automatiku OZ a řadu dalších.

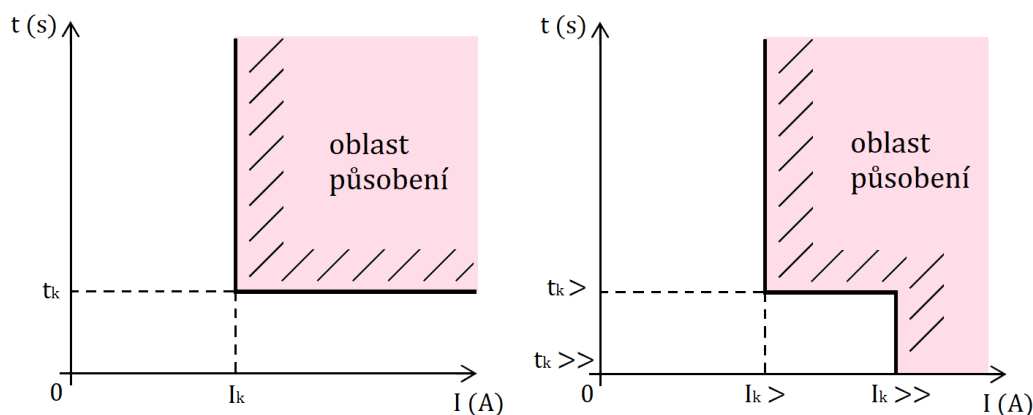
## 2.1 Nadproudové ochrany

Výhodou nadproudových ochran je jejich konstrukční jednoduchost. Přestože tento typ ochran nemá tak selektivní působení jako distanční nebo rozdílové ochrany, jejich použití je velmi široké. Jako základní ochrany se využívají nejčastěji u vedení vysokého napětí. Záložní nadproudové ochrany se pak používají v kombinaci s rozdílovými a distančními ochranami pro ochrany transformátorů a vedení vyšších napěťových hladin. [2]

Principem tohoto typu ochran je měření proudů procházejících PTP. Ochrana vydává vypínací povel při překročení nastavené hodnoty proudu po daný časový interval. Podle závislosti na velikosti protékajícího proudu pak rozeznáváme nadproudové ochrany časově nezávislé, závislé a polozávislé. [9]

### 2.1.1 Nezávislé nadproudové ochrany

Tento typ ochran má pouze nejjednodušší nadproudovou funkci. Při překročení nastavené hodnoty proudu ochrana vypíná s konstantním časovým zpožděním, které není úměrně závislé na velikosti poruchového proudu. Časově nezávislých nadproudových ochran se téměř vždy používá u ochran před zkratovými proudy. [11]

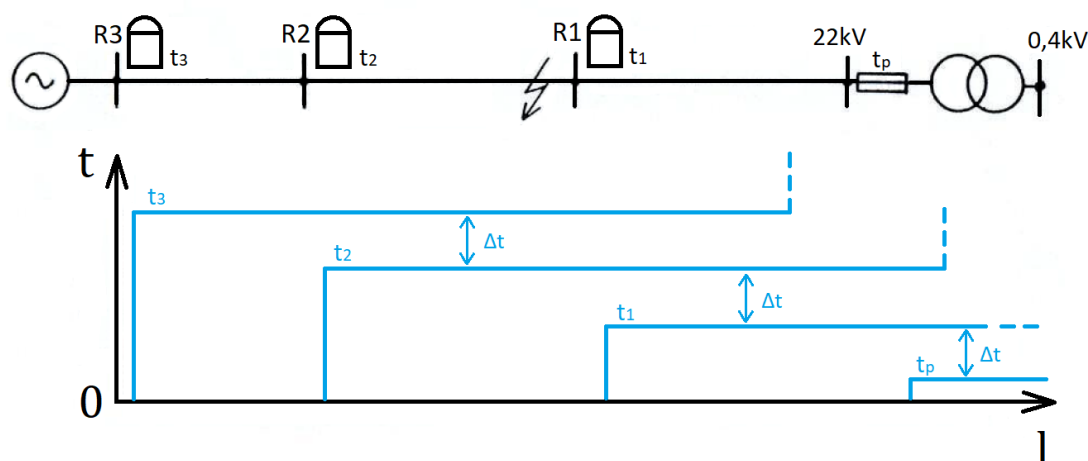


Obr. 7 Charakteristiky časově nezávislých nadproudových ochran

Charakteristika jednostupňové časově nezávislé nadproudové ochrany je zobrazena na Obr. 7 vlevo. Hodnota proudu  $I_k$  značí nastavenou hodnotu proudu na ochraně,  $t_k$  pak časové zpoždění vypnutí. V praxi je často potřebné, aby ochrana reagovala různě na různé typy nadproudů (nadproud, zkrat). U elektromechanických ochranných zařízení se toto obvykle řešilo použitím více typů nadproudových ochranných např. nadproudové a zkratové. V dnešní době však není problém u moderních digitálních ochranných nastavit více časově nezávislých charakteristik (např. první – nadproudový, druhý – zkratový) v jedné ochraně viz Obr. 7 vpravo. Tento typ ochranných pak nazýváme jako vícestupňové nezávislé nadproudové ochrany. [8] [11]

Nezávislé nadproudové ochrany se nejčastěji nasazují v radiálních sítích vysokého napětí, kde se vyskytuje řada úseků spojena v sérii a pak v sítích, kde jsou malé rozdíly velikosti zkratových proudů na koncích jednotlivých úseků. [9]

Pro zachování selektivního působení a možnosti vzájemného zálohování ochranných, je potřeba časové odstupňování vypínacích časů, jak je znázorněno na Obr. 8. Ochrannou, která leží blíže zdroji je nutno seřadit o čas  $\Delta t$  (tzv. koordinační interval) delší, než ochranu následující. Koordinační interval závisí zejména na přesnosti časového členu ochrany a v praxi se obvykle volí 0,3 – 0,5 s. [9]

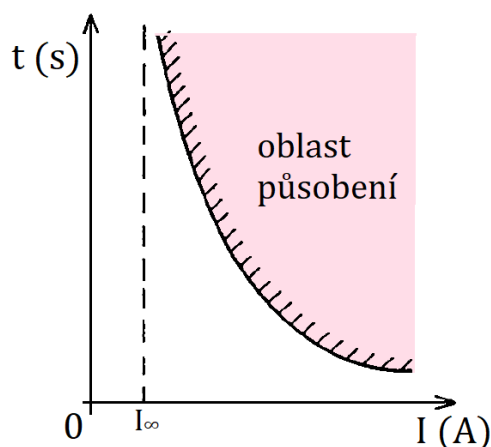


Obr. 8 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochranných [9]

Z vypínacího plánu ochranných na Obr. 8 je patrná nevýhoda nezávislých nadproudových ochranných – „nejtěžší“ zkraty, jež se vyskytují blízko zdroji, jsou vypínány v nejdelším čase. Naopak výhodou je jejich vzájemné zálohování při vhodném proudovém nastavení. Pro zvýšení selektivity je možné použít funkci podpětového odblokování. Ochrana v tomto případě reaguje až v okamžiku poklesu napětí pod nastavenou hodnotu. [9]

### 2.1.2 Závislé nadproudové ochrany

Charakteristika časově závislé nadproudové ochrany je uvedena na Obr. 9. Z průběhu charakteristiky je patrné, že vypínací čas ochrany je závislý na velikosti proudu, přičemž vyšší proud znamená vždy kratší dobu vypnutí. [11]



Obr. 9 Charakteristika časově závislé nadproudové ochrany [9]

Tvar vypínací charakteristiky závislých nadproudových ochran se dle normy IEC 255 určí pomocí vztahu: [2]

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{\infty}}\right)^{\alpha} - 1} T_p \quad (2.1)$$

kde:

$t$  – teoretický čas působení

$K$  – konstanta charakterizující posun charakteristiky

$T_p$  – časový násobitel

$I$  – poruchový proud

$I_{\infty}$  – nastavený rozběhový proud

$\alpha$  – index charakterizující strmost charakteristiky

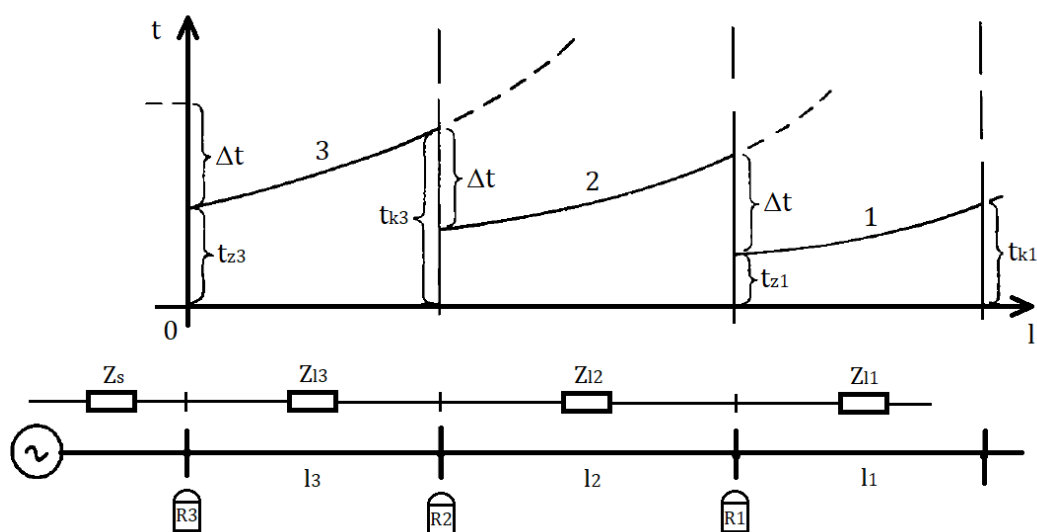
Norma IEC 255 pak rozlišuje čtyři základní charakteristiky, které jsou uvedené v Tab. 1 včetně příslušných konstant a indexů. Kromě normou uváděných typových charakteristik se v praxi používá velké množství jiných charakteristik, které jsou optimalizovány dle potřeb chráněného objektu. [11]

Tab. 1 Normalizované charakteristiky časově závislých nadproudových ochran [2]

Typ charakteristiky	$K$	$\alpha$
normálně inverzní	0,14	0,02
velmi inverzní	13,5	1
extrémně inverzní	80	2
inverzní s dlouhým časem	120	1

Na Obr. 10 je zobrazen vypínací plán závislých nadproudových ochran. Stejně jako u nezávislých nadproudových ochran je možné zajistit selektivní působení závislých ochran pomocí časového odstupňování o čas  $\Delta t$ . Tento koordinační interval je však možno zvolit kratší, obvykle se volí hodnoty od 100 ms. Vezmeme-li v úvahu, že impedance vedení roste se vzdáleností od zdroje a tím klesá velikost zkratových proudů, je možné vhodným nastavením těchto ochran dosáhnout výrazného

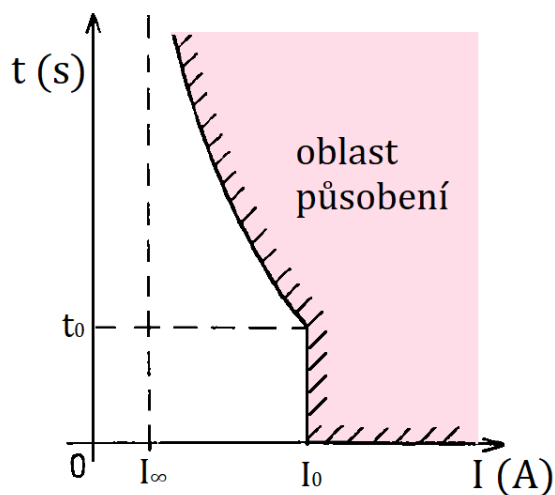
zkrácení vypínacích časů (oproti nezávislým ochranám) a to zejména na začátku vedení. Naopak nevýhodou je prodloužení vypínacího času nadřazené ochrany při selhání ochrany základní. [8]



Obr. 10 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [9]

### 2.1.3 Polozávislé nadproudové ochrany

Polozávislé nadproudové ochrany v sobě kombinují časově závislé a nezávislé vypínací charakteristiky. Častou kombinací je použití závislé charakteristiky pro první nadproudový stupeň v kombinaci s nezávislou charakteristikou, která slouží jako druhý zkratový stupeň. Průběh takové charakteristiky je pak znázorněn na Obr. 11. [9]

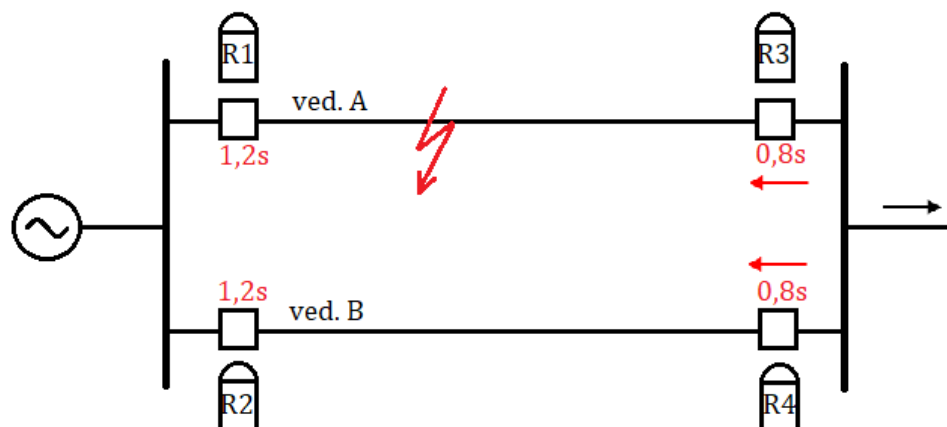


Obr. 11 Charakteristika polozávislé nadproudové ochrany [9]

Proud  $I_\infty$  značí rozběhový proud ochrany. Ochrana má definovanou závislou charakteristiku do proudu  $I_0$ , nad tuto hodnotu proudu se ochrana chová jako nezávislá.

### 2.1.4 Směrové nadproudové ochrany

Směrové nadproudové ochrany se používají v těch částech sítě, kde může být místo zkratu napájené z více stran a při použití nesměrových nadproudových ochrany by docházelo k neselektivnímu vypínání. Pro určení směru toku poruchového proudu musí být ochrana vybavena směrovým článkem, který je konstrukčně řešený jako součinný člen. [8]



Obr. 12 Princip působení směrových nadproudových ochrany [9]

Ukázkovým příkladem použití tohoto typu ochrany je chránění paralelního vedení viz Obr. 12. Na začátcích paralelních vedení A i B jsou použity dvě nesměrové nadproudové ochrany R1, R2. Na koncích vedení pak dvě směrové nadproudové ochrany R3, R4. Jak je naznačeno červenými šipkami, směrové ochrany R3 a R4 reagují pouze na poruchový proud, který se vrací z konce vedení. Ochrany nereagují v případě, že tok proudu je od začátku vedení k jeho konci. V případě vzniku zkratu na vedení A, dojde k rozběhu nesměrových ochrany R1, R2 a směrové ochrany R3. Jako první vypíná ochrana R3 v čase 0,8 s. Díky tomu ochrana R2 přechází do klidového stavu a zkrat je vypnut ochranou R1 v čase 1,2 s.

## 2.2 Distanční ochrany

Jako základní ochrana se tento typ ochrany používá zejména pro chránění vedení zvláště vysokého napětí a velmi vysokého napětí. Na vedení vysokého napětí se nepoužívá. Vyjma chránění vedení se distanční ochrany také používají jako záložní ochrany transformátorů, generátorů a přípojníc. V porovnání s nadproudovou ochranou je distanční ochrana daleko sofistikovanější a má hned několik výhod: [8] [16]

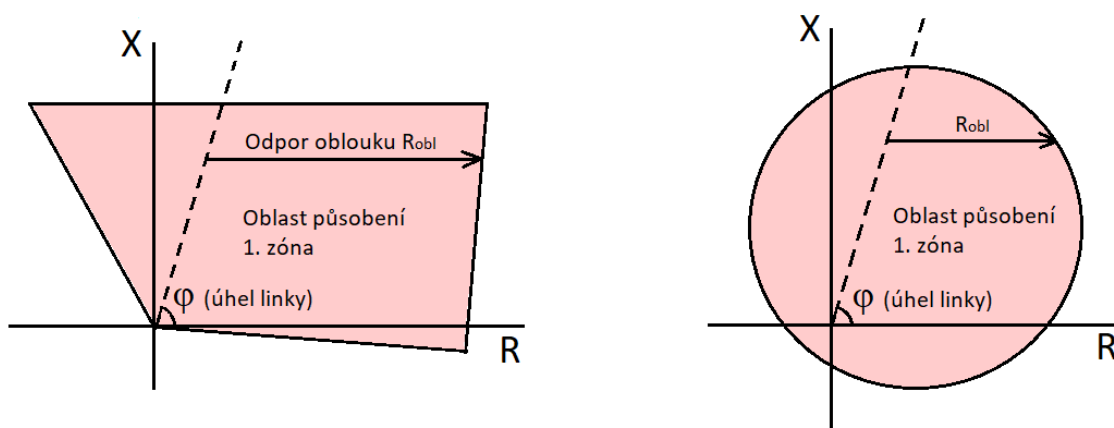
- Lepší selektivita – u ochrany blíže zdroji není pro zachování selektivity potřeba prodlužovat vypínací čas. Ochrana v první impedanční zóně vypíná mžikově.
- Automatické přizpůsobení citlivosti ochrany místu poruchy – možnost nastavení několika impedančních zón s různými vypínacími časy.
- Lokalizace místa poruchy – porovnáním nastavené impedance vedení a měřené impedance je ochrana schopna určit pravděpodobné místo poruchy. Moderní digitální nadproudové ochrany touto funkcí již také disponují.

- Odolnost vůči kolísání napětí zdroje – výhoda oproti nadproudové ochraně s podpěťovým blokováním, která selektivně působí jen v určitém malém rozmezí kolísání napětí.

Funkce distanční ochrany je založena na principu měření napětí a proudů a následném výpočtu impedance v místě instalace ochrany. Z tohoto důvodu se tato ochrana často nazývá impedanční. Impedance vypočtená ochranou je dána podle Ohmova zákona: [8]

$$Z = \frac{U}{I} \quad (2.2)$$

Při zkratu na chráněném objektu dochází k poklesu impedance pod nastavenou mez a ochrana vydává povel k vypnutí výkonového vypínače. Příklady vypínacích charakteristik distančních ochran jsou uvedeny na Obr. 13. Vlevo je zobrazena „víceúhelníková“ charakteristika, která se využívá u digitálních ochran, vpravo pak kruhová „offset mho“ charakteristika, typická pro elektromechanické distanční ochrany. [8] [11]



Obr. 13 Vypínací charakteristiky distanční ochrany

Úhel  $\varphi$ , který je naznačený na Obr. 13 se nazývá úhlem linky (vedení) a můžeme jej vypočítat ze vztahu: [8]

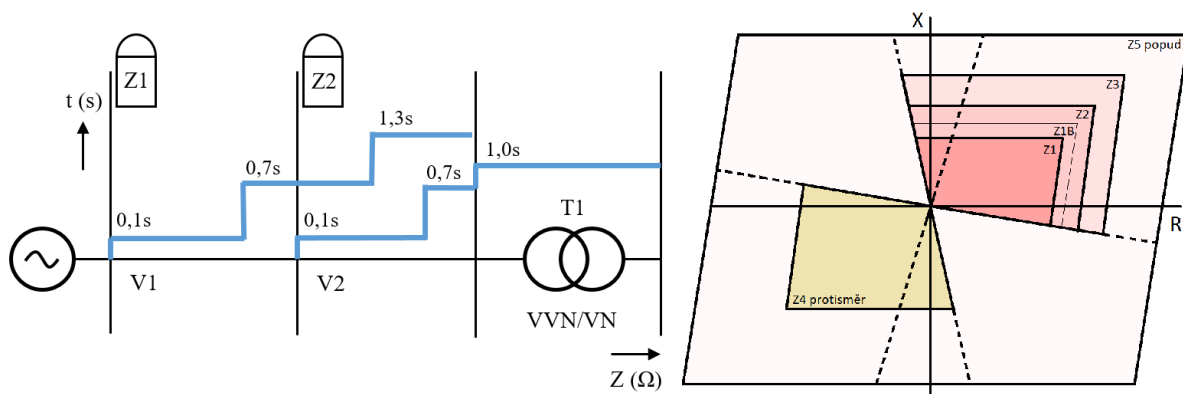
$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} \quad (2.3)$$

kde:

$X$  – podélná reaktance linky

$R$  – podélná rezistence linky

Pro možnost vzájemného zálohování, umožňují distanční ochrany nastavení několika impedančních zón s různým časovým zpožděním. Z důvodu nepřesností měření se impedance pro jednotlivé zóny nastavují s určitou rezervou vzhledem k impedanci chráněného objektu. Této rezervě říkáme bezpečnostní koeficient a pohybuje se přibližně kolem 20%, nastavená impedance pro první zónu pak činí 80% impedance chráněného objektu.



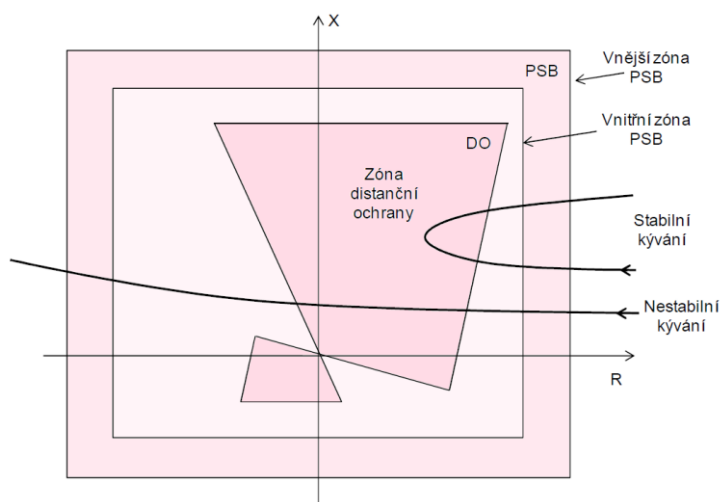
Obr. 14 Princip nastavení distančních ochran pro vzájemné zálohování

Na Obr. 14 je naznačen princip nastavení a vzájemného zálohování dvou distančních ochran Z1, Z2. Každá z těchto ochran má nastavené tři impedanční zóny s různými vypínacími časy. Díky tomu je ochrana Z1 schopna ve druhé a třetí impedanční zóně zálohovat ochranu Z2. Ochrana Z2 pak ve třetí zóně slouží jako záložní ochrana transformátoru T1.

### Závora proti kývání (PSB)

Vlivem poruch v síti, změnou zatížení či konfigurace sítě dochází při provozu ES k velkému množství přechodových dějů. Některé z nich mohou mít za následek dočasné cyklické změny ve vzájemné poloze rotorů synchronních generátorů a následné kývání výkonu mezi nimi. Charakteristickým znakem kývání výkonu jsou proudové rázy ve více fázích vedení a poklesy napětí. Tyto proudové rázy a změny napětí se distančními ochranami jeví jako změna měřené impedance a v krajním případě může dojít k vybavení ochrany. [4] [11]

Aby nedocházelo k nechtěné aktivaci ochran, bývají distanční ochrany vybavené závorou proti kývání (PSB – Power Swing Blocking). Při vzniku kývání výkonu v síti se ochrana snaží rozlišit stabilní kývání a zabránit vypnutí ochrany. Naopak v případě nestabilního kývání se snažíme rozdělit ES v rozpadových bodech na stabilní ostrovy za účelem zabránění rozsáhlým výpadkům nebo poškození zařízení. [11]



Obr. 15 Princip funkce PSB u distanční ochrany [11]

Hlavní myšlenkou rozlišení kývání výkonu od poruchy v síti je, že kývání představuje pomalou změnu impedance vzhledem k velké mechanické setrvačnosti generátorů, kdežto při poruše dochází k její skokové změně. Princip funkce PSB je naznačen na Obr. 15. Ochrana je doplněna o dvě vnější impedanční zóny a měří čas průchodu mezi těmito zónami. V případě, že čas průchodu je větší než nastavená hodnota, ochrana děj vyhodnotí jako kývání a blokuje působení distanční ochrany. [11]

## 2.3 Ochrany transformátoru

Transformátory představují jeden z nejdůležitějších a nejnákladnějších prvků ES. Výpadek transformátoru má obvykle za následek přerušení dodávky elektrické energie do rozsáhlejší oblasti. Tento výpadek není vždy jednoduché nahradit a případné opravy bývají nákladné a časově náročné. To jsou důvody, proč se chránění transformátorů musí věnovat zvláštní pozornost. [9]

Transformátory je potřeba chránit jak před vnějšími poruchami, tak před vnitřními. U transformátorů se používají tři základní typy ochrany – rozdílová, kostrová a plynové relé. Dále je možné transformátor vybavit dalšími ochranami, např. nadproudovou ochranu nebo tepelným čidlem. Možnosti chránění pro jednotlivé typy poruch jsou uvedeny v Tab. 2. Při návrhu ochrany transformátorů je vždy potřeba vzít v úvahu jejich důležitost a podle toho zvolit vhodnou kombinaci ochrany. [9]

Tab. 2 Možnosti chránění transformátorů [9]

Druh poruchy			Druh ochrany
<b>vnější</b>	---	přetížení vnější zkrat	nezávislá nadproudová distanční proudová na přetížení (termokopie)
<b>vnitřní</b>	náhlá	zkraty ve vinutí zkraty na nádobu	rozdílová kostrová (nádobová) plynové (Buchholzovo) relé
	pozvolná	špatné galvanické styky špatná izolace plechů porucha chlazení	plynové (Buchholzovo) relé

### 2.3.1 Rozdílová ochrana transformátoru

Úkolem rozdílových ochrany je chránění objektů před vnitřními poruchami. Obecně je můžeme rozdělit na tyto typy: [1]

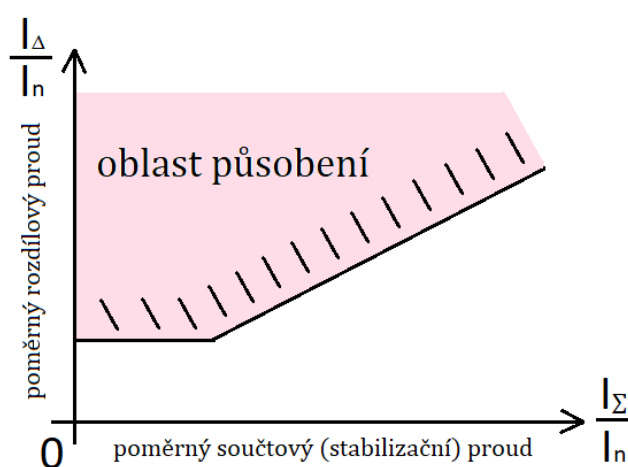
- Podélné – porovnávají vstupní a výstupní proudy objektu např. transformátoru, vedení, přípojnic.
- Příčné – chrání dva shodné, paralelně pracující objekty (popř. dvě shodné části objektu) např. paralelní vedení, paralelně pracující transformátory. Ochrana porovnává proudy obou objektů, zda jsou shodné.



Pro chránění transformátorů se ve většině případů používají podélné rozdílové ochrany. Mezi jejich hlavní výhody patří: [16]

- Mžikové působení bez časového zpoždění
- Vysoká selektivita
- Citlivost i na malé zkratové proudy

Jak již bylo naznačeno výše, princip podélné rozdílové ochrany je založen na porovnání součtu proudů na vstupních a výstupních vývodech. Tento rozdílový proud se za běžného provozního stavu blíží nule. V případě vnitřní poruchy (zkratu) dochází ke zvýšení hodnoty rozdílového proudu a ochrana vydává vypínací povel. Typická vypínací charakteristika podélné rozdílové ochrany je zobrazena na Obr. 16. [8]



Obr. 16 Vypínací charakteristika rozdílové ochrany

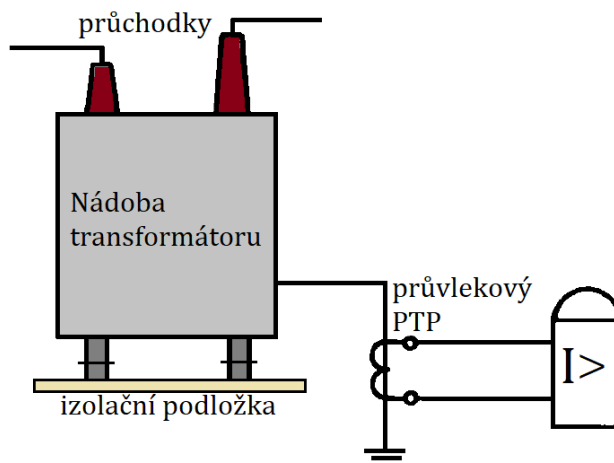
### Blokování při zapínacím rázu

Při zapínání transformátoru dochází k velkým rázům vlivem magnetizačních proudů. V závislosti na okamžiku zapnutí, remanenci jádra a dalších vlivech, mohou dosáhnout až desetinásobku jmenovité hodnoty proudu. Tento zapínací ráz se jeví z pohledu rozdílové ochrany jako vnitřní porucha a docházelo by k chybnému působení ochrany. K zabránění nežádoucího působení se využívá jevu, kdy při magnetizačním rázu vzniká výrazná 2. (příp. 5.) harmonická složka proudu. Proto se rozdílová ochrana doplňuje filtračním členem, který při vzniku 2. (příp. 5.) harmonické blokuje působení ochrany. [8] [9]

### 2.3.2 Nádobová (kostrová) ochrana

Tato ochrana působí při poruchách, kdy dojde k průrazu napětí na kostru transformátoru. To se může stát např. při přeskočení napětí na průchodkách nebo z vinutí na kostru. [4]

Princip je založen na provlečení uzemňovacího vodiče kostry transformátoru přes průvlekový PTP viz Obr. 17. Na sekundární stranu PTP se připojí nadproudová ochrana, která vyhodnocuje velikost proudu tekoucího uzemňovacím vodičem. V případě překročení nastavené proudové hodnoty, ochrana vydá povel k vypnutí transformátoru. [4]

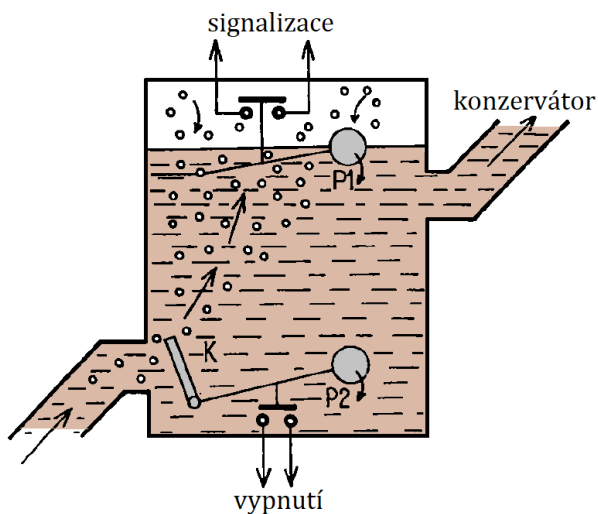


Obr. 17 Nádobová ochrana transformátoru [9]

Pro správnou funkci musí být nádoba transformátoru vhodně odizolovaná od země. K zamezení chybného působení ochrany vlivem poruch v pomocných obvodech transformátoru (např. chladicí ventilátory, pohony regulace apod.), musí všechny kabely pomocných obvodů procházet také průvlekovým PTP. [4]

### 2.3.3 Plynové relé

Plynové, též občas nazývané Buchholzovo relé se používá u transformátorů s olejovým chlazením. Jedná se o velmi citlivý typ transformátorové ochrany, který je založený na mechanickém principu. Při vzniku i drobné poruchy uvnitř nádoby transformátoru, která je naplněná olejem, dochází při působení tepla elektrického oblouku k vývinu plynů. Tento vývin plynů je snímán prostřednictvím dvou plováků, přičemž jeden plovák má za úkol signalizovat počínající vnitřní poruchu, druhý pak při větším vývinu plynů vyšle signál k odpojení transformátoru. Pro rychlejší vypnutí při zkratech uvnitř nádoby bývá plynové relé vybavené strhávací klapkou. Při vzniku zkratu dochází k rychlému proudění oleje uvnitř transformátoru, ten strhne klapku, která je mechanicky spojená s plovákem. Tím dojde k vypnutí poruchy v kratším čase, než by tomu bylo při vypnutí pomocí vývinu plynů. [4] [9]



Obr. 18 Plynové (Buchholzovo) relé [9]

## 2.4 Fázové srovnávací ochrany

Stejně jako rozdílové ochrany, můžeme srovnávací ochrany rozdělit na podélné a příčné. Příčné porovnávají fázi proudu u dvou shodných, paralelně pracujících objektů, podélné fázi proudu na vstupu a výstupu chráněného objektu. [1]

### Podélné fázové srovnávací ochrany

Jak již bylo uvedeno výše, principem podélné fázové srovnávací ochrany je porovnání fáze proudu na začátku a konci chráněného objektu. V normálním provozním stavu, vlivem příčných admitancí (svod, kapacita, magnetizační větve transformátoru) dochází vždy k určitému fázovému posunu mezi proudy na začátku a na konci chráněného objektu. Při zkratu uvnitř chráněného objektu dochází ke změně směru jednoho z proudů a rozdíl fází se skokově mění. Ochrana působí, je-li rozdíl fází proudu  $\Delta\varphi$  větší než nastavená hodnota. [9]

Výhodou těchto ochran je jejich selektivní působení, vysoká citlivost a rychlost působení. Nevýhodou podélných srovnávacích ochran je pak požadavek spojovací cesty mezi začátkem a koncem chráněného úseku a také to, že ochrana ze svého principu nemůže zálohovat ochrany pro sousední úseky vedení. [16]

Tento typ ochran se používá pro svoji dobrou citlivost a rychlost působení u důležitých vedení vn a vn. Zejména tam, kde vzhledem k příliš krátké délce vedení není možné použít ochranu distanční. Naopak u dlouhých vedení, není možné tuto ochranu použít z důvodu poměrně velké kapacity vedení, kterou ochrana může vyhodnotit jako vnitřní poruchu chráněného objektu. [1] [16]

## 2.5 Rozdílová ochrana přípojnic

Jedná se o velmi důležitou ochranu, která slouží nejen k ochraně přípojnice rozvodny, ale rovněž chrání další důležitá silová zařízení, jako jsou přípojnicové odpojovače, vypínače na jednotlivých vývodech a další silová zařízení v rozvodně. Chráněný úsek je vymezen přístrojovými transformátory proudů na jednotlivých vývodech. [11]

Princip je prakticky stejný jako u podélné rozdílové ochrany transformátoru. Hlavním rozdílem je výrazně vyšší počet připojených proudových vstupů, které představují PTP jednotlivých vývodů. Jelikož je na přípojnicích soustředěn velmi velký zkratový výkon, tečou při zkratu PTP velmi velké proudy, které mohou u rozvodu 110 kV dosahovat až padesátinásobku jmenovité hodnoty PTP. To je důvod, proč jsou u rozdílových ochran přípojnic kladené vysoké nároky na jejich stabilizaci (nepůsobení) při blízkých zkratech mimo chráněnou část, kdy hrozí přesycení PTP. Jedním z možných řešení je volba strmější vypínací charakteristiky, než je tomu u rozdílových ochran transformátorů. [11]

## 2.6 Ochrany při zemním spojení

Zemní spojení je vodivé spojení jedné fáze se zemí v sítích, kde není přímo uzemněný uzel transformátoru. Takto jsou v ČR provozovány distribuční sítě vysokého napětí (6, 10, 22, 35 kV), většina z nich je pak kompenzovaných pomocí zhášecí tlumivky. Na rozdíl od zkratů jsou proudy při zemních spojeních mnohonásobně nižší a v zájmu zajištění dodávky elektrické energie je možné síť po určitou dobu dále provozovat. Je však nutné zemní spojení identifikovat, lokalizovat a odstranit ho. Úkolem

ochran detekující zemní spojení je signalizovat jeho vznik a lokalizovat vývod v rozvodně, na kterém se zemní spojení nachází. [19]

K zjištění vzniku zemního spojení se téměř výhradně používá detekce nulové složky napětí  $U_0$ , která vzniká mezi uzlem transformátoru a zemí. Detekce nulové složky napětí se často provádí přímo na přípojnících pomocí PTN, jehož sekundární vinutí je zapojené do otevřeného trojúhelníku a připojené na analogový vstup ochrany. V případě překročení nastavené hodnoty  $U_0$  ochrana signalizuje vznik zemního spojení. [19]

Pro přesnou lokalizaci vývodu, na kterém vzniklo zemní spojení, je potřeba jednotlivé vývody v rozvodně vybavit zemní směrovou ochranou. Pro citlivější měření nulové složky proudu  $I_0$  je dobré použít průvlekové transformátory na jednotlivých vývodech. Pro detekci postiženého vývodu se používají zejména tyto metody: [19]

- Wattmetrická metoda – založena na sledování činné části netočivé složky proudu, kdy se využívá skutečnosti, že u nepostižených vedení teče nulová složka proudu do přípojníc, kdežto u postižených vedení ven z přípojníc.
- Admitanční metoda – princip vychází z hodnot netočivé složky admitance, která je vypočtena z měřených hodnot  $U_0$  a  $I_0$ .
- Konduktanční metoda – je variantou admitanční metody, kdy se sleduje pouze reálná část vypočtené hodnoty netočivé složky admitance.
- Metoda prvních půlperiody – jedná se o dynamickou metodu, kde se využívá faktu, že při vzniku zemního spojení dochází k vybití kapacity postižené fáze a nabití nepostižených fází. Nevýhodou této metody je, že přechodový děj trvá jen krátce a ochrana má pouze jeden pokus pro správnou lokalizaci.

U prvních tří metod (statických) se pro spolehlivější detekci využívá spolupráce s automatikou připnutí odporu, kdy se do obvodu vnutí činná složka proudu  $I_0$ .

## 2.7 Automatika opětného zapínání

Přibližně 80% poruch na venkovních vedeních mají přechodný charakter. Příčinou může být pád větve do vedení, úder blesku, ptáci, náhodné přiblížení vodičů a následný přeskok. Ochrany bohužel nejsou schopné rozeznat, zda se jedná o přechodnou nebo trvalou poruchu a postižené vedení vypínají. Úkolem automatik opětného zapínání (OZ) je spolupráce s ochranou a zkrácení doby, po kterou je přerušena dodávka elektrické energie. Po vypnutí zkratu ochranou, automatika OZ odměří čas beznapěťové pauzy a poté vydá povel k zapnutí vypínače. V případě, že dojde k deionizaci elektrického oblouku v místě zkratu, je dodávka elektrické energie obnovena a mluvíme o tzv. úspěšném OZ. V opačném případě, kdy porucha na vedení trvá, dochází k tzv. neúspěšnému OZ a ochrana postižený úsek vypíná. Celý cyklus lze poté znovu opakovat s delším časovým odstupem. U kabelových vedení vznik přechodných poruch nelze očekávat, a proto se zde automatiky OZ nepoužívají. [11] [18]

V závislosti na napěťové hladině a účelu, ke kterému se vedení provozuje, rozeznáváme tyto druhy provozu automatik OZ:

- 1-pólový OZ – automatika provede opětné zapnutí pouze v případě vzniku jednofázové poruchy. Dochází k vypnutí pouze jedné fáze, další dvě zůstávají v provozu. V případě neúspěšného OZ dochází vždy k vypnutí všech tří fází. Tento typ provozu vyžaduje vypínače s nezávislými pohony pro jednotlivé póly.
- 3-pólový OZ – automatika provede opětné zapnutí jak v případě jednofázové, tak i třífázové poruchy. Dochází vždy k vypnutí a zapnutí všech tří fází společně.
- Provoz 1+3 OZ – podle typu poruchy (jednofázová, vícefázová), dojde k vypnutí jedné nebo všech tří fází a následnému zapnutí automatikou OZ. V případě neúspěšného OZ dochází vždy k vypnutí všech tří fází.
- Provoz bez OZ – automatika OZ není v provozu.

Typická doba první beznapěťové pauzy (tzv. rychlý OZ) bývá 0,3 – 1,0 s, v závislosti na typu zkratu (jednofázový, vícefázový). V distribučních sítích vysokého napětí s neúčinně uzemněným uzlem se často provozuje režim dvojitého OZ, kdy po prvním neúspěšném OZ následuje delší druhá beznapěťová pauza (tzv. pomalý OZ) cca 20 s – 3 min, poté dojde k opětnému zapnutí vedení. V případě druhého neúspěšného OZ bývá vypnutí definitivní. V těchto sítích se používá pouze 3-pólový OZ. [11] [18]

## 2.8 Další typy ochran

### 2.8.1 Napěťové ochrany

Charakteristiky napěťových ochran jsou obdobou charakteristik proudových. Podle oblasti působení (nad nebo pod charakteristikou) je můžeme rozdělit na nadpěťové a podpěťové. [1]

V distribučních sítích se napěťové ochrany používají u regulačních transformátorů 110 kV/vn, kdy v případě výraznějšího přepětí na straně vn, dochází k zablokování regulace transformátoru. Ochrana pracuje ve dvou stupních, v prvním stupni dochází k rozpojení regulačního povelu („napětí více“) od automatiky regulace transformátoru, ve druhém pak k vypnutí jističe pohonu regulace. Dále se napěťové ochrany používají pro zvýšení selektivity nadproudových ochran pomocí tzv. podpěťového odblokování. V důsledku zkratu dochází k poklesu napětí, které je závislé na místě zkratu. V případě, že napětí poklesne pod nastavenou hodnotu, dojde k odblokování nadproudové ochrany a ta vypíná. S rozvojem digitálních nadproudových ochran, které umožňují přesnější nastavení vypínacích charakteristik, se funkce podpěťového odblokování již tak často nepoužívá. [1]

### 2.8.2 Frekvenční ochrany

Udržení frekvenční stability ES je klíčové pro její chod. Je potřeba udržet rovnováhu mezi činnými výkony zdrojů a spotřebou. V případě, že dojde k nerovnováze, např. vlivem výpadků zdrojů nebo připnutí zátěže a v soustavě již nejsou žádné výkonové rezervy, dochází k poklesu kmitočtu v ES. Pokles kmitočtu o více jak 1 - 2 Hz již představuje vážné nebezpečí pro normální chod soustavy. Úkolem frekvenčních ochran (popř. automatik frekvenčního odlehčování) je při poklesu kmitočtu pod nastavenou mez odepnutí zatížení a tím odlehčení ES. [2] [11]

Frekvenční ochrany jsou buď instalované přímo na jednotlivých vývodech z rozvodny vn, nebo využívají centrální řídicí jednotku a na vývodech jsou instalována pouze vypínací relé, která působí na

vypínač. Vypnutí jednotlivých vývodů probíhá bez časového zpoždění a je definováno šest vypínacích stupňů, které jsou uvedeny v Tab. 3. Přiřazení jednotlivých vypínacích stupňů daným vývodům je realizováno pomocí plánu frekvenčního odlehčování s ohledem na důležitost jednotlivých vedení. Frekvenční ochrany mohou být doplněné blokováním v závislosti na směru toku výkonu, aby se zabránilo vypnutí napájecích linek, čímž by docházelo k dalšímu zhoršování frekvenční stability ES. [2] [28]

Tab. 3 Stupně frekvenčního odlehčování [28]

stupeň	1.	2.	3.	4.	5.	6.
frekvence [Hz]	49,0	48,7	48,4	48,3	48,1	48,0
objem odlehčené zátěže [%]	10	10	10	2	10	8

### 2.8.3 Automatika selhání vypínače

V případě zjištění poruchového stavu, vydává ochrana povel k vypnutí výkonového vypínače, jehož úkolem je odpojení vadné části od zbytku ES. V situaci, kdy dojde k selhání vypínače, je porucha vypnuta vzdálenými ochranami v záložních časech. Tyto časy však mohou být výrazně delší než základní vypínací časy ochran pro daný chráněný úsek. Navíc dochází k vypnutí dalších vedení a může dojít k omezení dodávek elektrické energie pro větší oblasti. Úkolem automatiky selhání vypínače (ASV) je v případě selhání vypínače zkrátit dobu vypnutí poruchy. [11]

Princip ASV je založen na monitorování proudu chráněným vypínačem a na sledování vypínacích funkcí ochran, které chrání zařízení za vypínačem. V případě, že ochrana vydá vypínací povel a proud tekoucí chráněným vypínačem ani po určené době neklesne, ASV vyhodnotí tento stav jako selhání vypínače a vydává vypínací povel pro nejmenší možnou část rozvodny, která slouží k napájení místa poruchy. [11]

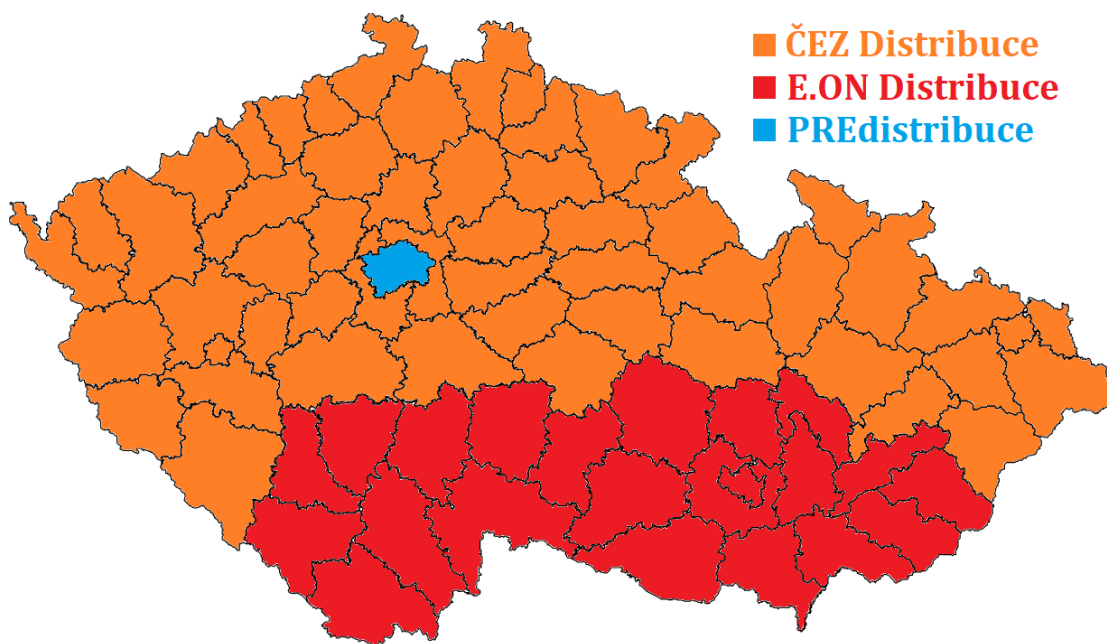
Konstrukčně se ASV skládá z centrální jednotky a jednotek na vývodech, které měří proud na vývodu z rozvodny, monitorují stav odpojovačů a vypínací funkce ochran pro daný vývod. Tyto informace jsou následně odeslány do centrální jednotky, která veškerá data zpracovává. V případě, že ASV zaznamená vypínací impuls od ochrany a dojde k selhání vypínače, vydává centrální jednotka povel příslušným vývodovým jednotkám k vypnutí výkonového vypínače. [11]

### 3 Problematika chránění distribučních sítí

Elektrizační soustava ČR se skládá ze vzájemně propojených zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektrické energie. Její páteř tvoří přenosová soustava (PS), která je v ČR provozována společností ČEPS. Jejím úkolem je přenos velkých výkonů na velké vzdálenosti, zabezpečuje propojení se soustavami okolních zemí a jsou do ní vyvedeny výkony velkých systémových elektráren. PS se v ČR provozuje na napěťových hladinách 400 kV, 220 kV a také na vybraných vedení 110 kV, které však tvoří velmi malou část celé PS. Na PS navazuje soustava distribuční, jejímž úkolem je zajišťovat dodávku elektrické energie k jednotlivým koncovým uživatelům. [19]

#### 3.1 Distribuční soustava

Distribuční soustava (DS) je tvořena vzájemně propojeným souborem vedení, které v ČR tvoří sítě velmi vysokého napětí 110 kV, vysokého napětí (3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 35 kV) a sítě nízkého napětí (400/230 V). Na rozdíl od PS, distribuční soustava přenáší výkon na kratší vzdálenosti a připojují se do ní zdroje nižších výkonů. Další odlišností od PS je to, že DS se skládá z mnoha oblastí, které nejsou za běžného provozu propojeny. Tyto oblasti jsou napájeny z PS a lze je vzájemně propojit. To se však obvykle děje jen krátkodobě za účelem provozních manipulací nebo v případě poruch. V některých případech DS napájí i vydělené přeshraniční oblasti. [20]



Obr. 19 Rozdělení distribuční soustavy mezi jednotlivé provozovatele

V ČR se na distribuci elektrické energie podílí tři hlavní provozovatelé DS – ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce a PREdistribuce. Každá z těchto společností působí na území, které je vymezené licencí ERÚ. Délky vedení jednotlivých napěťových hladin provozovaných danými distributory jsou uvedené v Tab. 4.

Tab. 4 Délky vedení distribuční soustavy v ČR, stav k 31.12.2019 [21] [22] [23]

Distribuční společnost	vvn [km]	vn [km]	nn [km]
ČEZ Distribuce, a.s.	10 002	51 006	104 827
E.ON Distribuce, a.s.	2 416	21 859	39 473
PREdistribuce, a. s.	221	3 899	8 252
<b>celkem</b>	<b>12 639</b>	<b>76 764</b>	<b>152 552</b>

## 3.2 Sítě 110 kV

Distribuční síť 110 kV je základním pilířem distribuční soustavy. Zajišťuje dodávku elektrické energie od uzlových transformoven 400/110 kV nebo 220/110 kV do transformoven 110 kV/vn a jsou do ní také vyvedeny zdroje o výkonech desítek MW. Síť je tvořena převážně venkovním vedením, kabelové vedení se na této napěťové hladině vyskytuje velmi málo a zpravidla se jedná jen o krátké úseky. Síť se provozuje s účinně uzemněným uzlem transformátoru, nejčastěji jako okružní (popř. paprsková) a vyznačuje se vysokou spolehlivostí. Napájecí transformátory PS/110 kV pracují obvykle do samostatně provozovaných oblastí a mají na straně 110 kV uzel přímo spojený se zemí. [19]

### 3.2.1 Chránění sítí 110 kV

Vzhledem k přímo uzemněnému uzlu transformátoru v této síti je dán i nejčastější typ poruch – zkratů. U sítí 110 kV se pro chránění vedení používají distanční ochrany (DO) v kombinaci se záložní nadproudovou ochranou. V ojedinělých případech, kdy není možné použít distanční ochranu, lze použít ochranu rozdílovou. Jedná se zejména o případy krátkých kabelových vedení v délce několika set metrů. Digitální distanční ochrany bývají také vybavené integrovanou záložní ochranou. Pro důležitá vedení (zejména napájecí linky) se hlavní distanční ochrana doplňuje druhou distanční ochranou, která slouží jako záložní. Přičemž jako záložní ochranu je vhodné zvolit jiný typ distanční ochrany, nejlépe od jiného výrobce a s rozdílným algoritmem výpočtu impedance. Distanční ochrany jsou standardně doplněné automatikou opětného zapínání s jedním zapínacím cyklem a nastavitelným režimem provozu (1p, 3p, 1+3p, bez OZ) viz kapitola 2.7. [19]

Jak již bylo částečně uvedeno ve 2. kapitole, distanční ochrany se nastavují v několika impedančních zónách (stupních) s rozdílnými časy působení. To umožňuje selektivní působení DO a jejich vzájemné (dálkové) zálohování, jak je zobrazeno na Obr. 14. První stupeň obvykle působí mžikově (cca 30 ms) a pokrývá 80 - 90 % délky vedení. Aby zbylá část vedení byla rovněž chráněna v základním vypínacím čase, musí se nastavit tzv. přesahová zóna (také nazývaná zóna OZ), která má přesah přibližně 10 – 20 % do následujícího vedení. V případě první poruchy v přesahové zóně dochází k mžikovému vypnutí a následnému zapnutí automatikou OZ, druhé vypnutí pak již probíhá s časovým zpožděním ve 2. impedančním stupni. [11]

Důležitou funkcí, kterou jsou vybaveny digitální DO, je lokátor poruch. Ochrana na základě změřené impedance a zadaných parametrů vedení, dokáže vypočítat přibližné místo poruchy. Značně se tak zkrátí doba potřebná na její odstranění. V případě poruchy PTN, kdy ochrana není schopna vypočítat impedanci, je DO doplněna o integrovanou záložní nadproudovou ochranou. [11]



Při spínání dvou vedení 110 kV, která mohou mít rozdílnou amplitudu napětí, fázové natočení nebo frekvenci se používá tzv. synchrocheck, který dovolí sepnutí až po splnění synchronizačních podmínek. [11]

### **3.3 Sítě vysokého napětí**

Distribuční sítě vysokého napětí jsou tvořeny jak venkovními, tak kabelovými vedeními. Na rozdíl od sítí 110 kV se kabelová vedení zde využívají mnohem častěji a tvoří přibližně čtvrtinu všech vedení vn. Nejpoužívanější napěťovou hladinou je 22 kV, v menší míře pak 35 kV. Sítě 3, 6 a 10 kV se sice stále používají, ale jsou postupně nahrazovány napěťovou hladinou 22 kV, popř. 35 kV. Sítě jsou provozované paprskově nebo formou průběžného rozvodu, obvykle s možností spojení do okružní sítě. Uzel transformátoru není přímo spojen se zemí (popř. je úplně izolován), nejčastěji se využívá kompenzace pomocí ladící tlumivky. Toto řešení má výhodu v tom, že v případě spojení fáze se zemí nedosahuje poruchový proud ani zdaleka tak vysokých hodnot, jako tomu je u sítí s přímo uzemněným uzlem a díky tomu není nutné okamžité vypnutí sítě. [19]

#### **3.3.1 Chránění sítí vn**

Sítě vn protínají převážnou část území ČR a prochází různorodou krajinou, kde jsou vystaveny mnoha nepříznivým vlivům. Zejména atmosférické vlivy, které působí na síť buď přímo (např. blesky) nebo nepřímo (např. pády stromů, podmáčení terénu apod.), způsobují relativně velké množství poruch. Nejčastější poruchou v sítích vn, která vychází z volby uzemnění uzlu transformátoru, je zemní spojení. [19]

#### **Nadproudové ochrany**

Na nastavení nadproudových ochran má vliv typ provozu sítě. Nejčastěji se sítě provozují jako radiální, kdy je vedení napájené pouze z jedné strany. Jen v případě provozních manipulací dochází k napájení ze dvou stran. V těchto sítích se nejčastěji používají nadproudové ochrany časově nezávislé, popř. polozávislé bez směrových funkcí. V posledních letech se však stále častěji připojují přímo na vedení vn lokální zdroje s relativně malým výkonem – vodní, větrné, fotovoltaické, bioplynové apod. Jelikož tok výkonu v těchto vedeních může být oběma směry, pro dodržení selektivity je vhodné použít směrové nadproudové ochrany. To platí i pro případy, kdy je síť provozována jako okružní. [24]

Často užívanou funkcí u digitálních ochran je dynamické přepínání parametrů. Princip spočívá v dynamické změně (obvykle zvýšení) náběhových hodnot ochrany, např. v případě spínání zařízení, která vyžadují při „studeném“ zapnutí zvýšený proudový odběr pro svůj rozběh (velké motory, klimatizace, apod.). Další užitečnou funkcí, kterou disponují novější digitální ochrany je lokátor poruch, pracující na obdobném principu jako u distančních ochran. Více informací o nadproudových ochranách je uvedeno v kapitole 2.1. [24]

#### **Ochrany při zemním spojení**

Zemní spojení je nejčastější poruchou vyskytující se v sítích vysokého napětí s neúčinně uzemněným uzlem. Úkolem zemních ochran je signalizovat vznik zemního spojení na vedení a přispět tak k jeho rychlejší lokalizaci a odstranění. Základní rozdělení je na ochrany, které detekují vznik

zemního spojení a na směrové zemní ochrany, sloužící k určení konkrétního vývodu, na kterém došlo k poruše. [24]

Ochrany k indikaci vzniku zemního spojení pracují ve většině případů na principu měření netočivé složky napětí  $U_0$ . Měření je realizováno pomocí PTN, jejichž sekundární vinutí jsou zapojena do otevřeného trojúhelníku. Ochrana bývá zpravidla umístěna v poli měření napětí a u novějších typů ochrany také na jednotlivých vývodech. V případě překročení nastavené hodnoty  $U_0$  (typicky 30 V sekundárně) ochrana signalizuje vznik zemního spojení. Ve speciálních případech, kdy je vedení provozováno v tzv. ZRP (zvláštní režim provozu) režimu, ochrana vedení vypíná. [24]

Pro identifikaci vývodu postiženého zemním spojením se může použít několika způsobů. Asi nejstarší a časově nejnáročnější je metoda postupného odpínání vývodů z rozvodny až do doby, kdy dojde k vymanipulování poruchy. I když se tento způsob v některých případech stále používá, většina zemních spojení je v současné době signalizována pomocí zemních směrových ochrany (citlivých zemních ochrany). Ty umožňují vyhodnocení netočivých složek proudu a napětí a pro identifikaci vývodu se zemním spojením využívají některé ze statických metod detekce uvedených v kapitole 2.6. Kde je to technicky možné a vhodné, tak se na měření netočivé složky proudu používá průvlekový transformátor. Pro zvýšení spolehlivosti identifikace postiženého vývodu se používá automatika připínání odporů. Ta má za úkol zvýšit činnou složku proudu zemním spojením pomocí připnutí odporů na sekundární straně zážecí tlumivky. Připínání probíhá po překročení nastavené hodnoty  $U_0$  a to pouze na nezbytnou dobu (typicky 1 s). [19]

## **Automatika OZ**

V sítích vn se často využívá režim dvojitého OZ, kdy v případě prvního neúspěšného OZ (0,5 – 1 s) dochází k opakování celého cyklu s delším časovým odstupem (obvykle 25 s). V těchto sítích se provozuje výhradně režim 3-pólového OZ – vypínají a zapínají vždy všechny fáze zároveň. [11]

## **Recloser a dálkově ovládaný úsečník**

Tyto dva dálkově ovládané prvky umožňují nejen běžné provozní manipulace prováděné z centrálního dispečinku, ale mají také důležité ochranné funkce, díky kterým dokáží odpojit postiženou část vedení nebo signalizovat zemní spojení na daném úseku vedení. [24]

Recloser je dálkově ovládaný výkonový vypínač, který umožňuje umístění na sloupy venkovního vedení vn. Umísťuje se na vytipovaných místech sítě, kde je v případě poruchy zvýšená potřeba rozdělit síť a tím izolovat místo poruchy. Zároveň se redukuje počet odběratelů, kteří zůstanou bez dodávky elektrické energie. Recloser je vybaven měřicími transformátory proudu a řídicí jednotkou, která umožňuje ochranné a řídicí funkce včetně automatického OZ. Nastavení ochranných funkcí musí být koordinované s nastavením ochrany v rozvodně. [24]

Stejně jako recloser, se dálkově ovládaný úsečník (DOÚ) umísťuje na sloupy venkovního vedení vn. Na rozdíl od něj však umožňuje spínání pouze provozních proudů. DOÚ je vybaven měřicím zařízením, které je schopno rozpoznat průchod zkratového proudu. V případě prvního neúspěšného OZ (provedeného předřazeným výkonovým vypínačem), dojde během beznapěťové pauzy k odpojení vadného úseku vedení pomocí DOÚ a po druhém cyklu OZ může dojít k obnovení dodávky elektrické energie v nepostižené části vedení. [24]

### 3.4 Distribuční transformátory vvn/vn

Distribuční transformátory vvn/vn jsou provedeny jako regulační s možností regulace napětí pod zatížením. Přepínání odboček probíhá na straně 110 kV, obvykle je vyvedeno  $\pm 8$  odboček (tj. celkem 16 odboček) s krokem 2 %. O dodržení předepsaného napětí na straně vn se stará automatika regulace transformátoru. V případě kompenzovaných sítí vn je uzel transformátoru na sekundární straně uzemněn přes kompenzační tlumivku, její správné naladění má za úkol automatika ladění tlumivek. [19]

#### 3.4.1 Chránění distribučních transformátorů vvn/vn

Jelikož jsou transformátory jedním z klíčových zařízení v ES, věnuje se jejich chránění značná pozornost. V závislosti na výkonu a důležitosti konkrétního transformátoru se volí i jejich způsob chránění. U transformátorů 110 kV/vn se vždy používá kombinace více ochran, viz kapitola 2.3. Chránění transformátorů by mělo být nezávislé na ostatních ochranách ES a i při jejich selhání by mělo vždy dojít k vypnutí transformátoru. Z tohoto důvodu se k základním ochranám (rozdílové, kostrové, plynové) používá i záložní ochrana nadproudová. Ze strany 110 kV je transformátor obvykle chráněn vzdálenou distanční ochranou z protější rozvodny, která slouží primárně k ochraně vedení a transformátor chrání v některé z vyšších impedančních zón s určitým časovým zpožděním. Regulaci napětí zajišťuje automatika regulace transformátoru, spolupracující s napěťovou ochranou. Při překročení napětí nad nastavenou hodnotu, dochází z bezpečnostních důvodů k zablokování regulace. [19] [24]

U kompenzačních tlumivek se žádné speciální ochrany nepoužívají a tlumivka je chráněna obvykle pouze pomocí plynového relé, které může v některých případech vypínat i transformátor. Správné naladění tlumivky pro kompenzaci kapacitních proudů sítě má na starosti automatika ladění tlumivky. V případě vzniku zemního spojení, automatika také zajišťuje krátkodobé připnutí odporníku pro snadnější identifikaci vývodu, na kterém vzniklo zemní spojení.

## 4 Diagnostika ochran na rozvodně

Diagnostika ochran probíhala na rozvodně Olomouc – Hodolany (R 22 kV), kde byla ověřována funkčnost digitálních multifunkčních ochran SIPROTEC 7SJ85 od firmy Siemens. Test čtyř vybraných ochran je detailněji uveden v této práci. Naměřená data z dalších ochran jsou pak použita pro rozbor rychlosti působení jednotlivých ochranných funkcí. Ochrany jsou umístěny v rozvaděčích nízkého napětí jednotlivých kobek a slouží k chránění distribuční soustavy 22 kV.

### 4.1 Rozvodna Olomouc – Hodolany, R 22 kV

Distribuční rozvodna Olomouc – Hodolany 110/22 kV je provozována společností ČEZ Distribuce a. s. Skládá se z venkovní rozvodny o napěťové hladině 110 kV, vnitřní rozvodny 22 kV a vnitřní blokované rozvodny 22 kV, která slouží k vyvedení výkonu z místní teplárny.

Vnitřní rozvodna R 22 kV je v kobkovém provedení (32 kobek) a v závislosti na způsobu provozu může být napájena ze strany 110 kV pomocí až tří transformátorů (T101, T102, T103). Je vybavena dvěma hlavními přípojnici, obě s možností podélného dělení (W11, W12 a W21, W22) a jednou pomocnou přípojnici (W5) bez možnosti podélného dělení. Přípojnice lze vzájemně propojit pomocí spojky přípojníc (SP) a spojky pomocné přípojnice (SPP). Z rozvodny je vyvedeno 20 vývodů pro napájení kabelových a venkovních vedení, další dva vývody slouží k napájení transformátorů vlastní spotřeby. Dále se zde nachází pole pro napájení HDO, dvě pole pro účely měření napětí na přípojnících, pole „nesymetrie“ (sloužící pro spolehlivější funkci automatik ladění tlumivek) a jedna rezerva.

Rozvodna je vybavena výhradně multifunkčními ochranami SIPROTEC 7SJ85, které zajišťují ochranu připojených zařízení a také důležité řídicí a monitorovací funkce. Tyto ochrany byly instalovány v roce 2016 v rámci částečné modernizace rozvodny.

### 4.2 Diagnostika digitálních ochran

Diagnostika ochran a automatik se skládá z několika dílčích činností, kterými ověřujeme řádnou funkčnost zařízení, které slouží k chránění (popř. regulaci) dané části ES. Mezi činnosti prováděné při diagnostice digitálních ochran patří:

- Kontrola nastavení ochrany dle nastavovacího protokolu.
- Kontrola napájení ochrany – ověření velikosti napájecího napětí ochrany, zda je v mezích udávaných výrobcem.
- Kontrola místního a dálkového ovládání – ověření ovládacích a řídicích funkcí ochrany přímo z ochrany nebo rozvaděče a nadřazeného ŘS, např. přepínání parametrových sad v ochraně, ZRP, OZ, odzkoušení manipulace se silovými prvky apod.
- Kontrola místní a dálkové signalizace – ověření funkčnosti signalizačních LED na ochraně a rozvaděči, kontrola hlášek odeslaných do nadřazeného ŘS, např. stavy silových prvků, hodnoty měřených provozních veličin, volba parametrové sady, hlášky o působení ochrany, vznik zemního spojení apod.
- Ověření vypínacích charakteristik a měření – provádí se pro všechny nastavené ochranné funkce a parametrové sady. Proudů a napětí generované měřicím zařízením jsou připojeny

přímo na analogové vstupy ochrany. Stav binárních výstupů ochrany je snímán pomocí binárních vstupů měřicího zařízení.

- Kontrola logických a blokovacích funkcí – např. blokování směrových a distančních ochrany výpadkem jističe PTN, funkce logické ochrany rozvodny, blokovací podmínky manipulací apod.
- Vytvoření zálohy nastavení – spojení se s ochranou pomocí počítače s vhodným softwarem a stažení nastavení ochrany.
- Kontrola obvodů PTP a PTN – zvláště důležitá je kontrola uzavřenosti sekundárních obvodů PTP. V případě rozpojení hrozí zničení PTP vlivem indukce vysokých hodnot napětí a následné proražení izolace.
- Funkční zkoušky ochrany se silovými prvky – zkouška působení ochrany přímo na silový prvek (nejčastěji vypínač).
- Další činnosti – např. kontrola stavu vnitřní záložní baterie, odstranění drobných závad, kontrola spojů a případně jejich dotažení, vypracování protokolu apod.

Diagnostika ochrany obvykle probíhá za beznapěťového stavu silového zařízení. Chráněný objekt může být po dobu zkoušek napájen přes pomocnou přípojnicí, popř. z jiného napájecího místa. K omezení dodávky elektrické energie zákazníkům dochází jen výjimečně. Jde se o tzv. sekundární zkoušky, kdy zkušební zařízení je připojeno přímo na vstupy ochrany. Primární zkoušky nejsou tak časté, používají se zejména při uvádění nového zařízení do provozu, po rekonstrukcích, opravách apod.

### 4.3 Ochrana SIPROTEC 7SJ85

Ochrana SIPROTEC 7SJ85 od firmy Siemens je digitální multifunkční ochrana a řídicí přístroj pole z nejnovější série přístrojů SIPROTEC 5. Jedná se o jedno z nejmodernějších ochranných zařízení současnosti, které je vybaveno výkonným mikroprocesorem a digitálním zpracováním všech úkolů, od detekce měřených veličin až po vydání vypínacího povelu. Vnitřní obvody ochrany jsou galvanicky odděleny od vnějších obvodů a je zajištěna jejich odolnost proti rušení. [17]



Obr. 20 SIPROTEC 7SJ85

## **Analogové vstupy**

Na analogové vstupy jsou přiváděné proudy a napětí z přístrojových transformátorů a následně jsou pomocí převodníků transformovány na úroveň, kterou je ochrana schopna zpracovat. Proudové vstupy slouží pro snímání fázových proudů a zemního proudu pomocí klasických PTP. Pro citlivé měření zemního proudu lze použít průvlekový transformátor. Pro funkce, které vyžadují i měření napětí, je ochrana vybavena napěťovými vstupy. Všechny analogové signály jsou pro další zpracování dat digitalizované pomocí mikroprocesoru ochrany. [17]

## **Binární vstupy a výstupy**

Na binární vstupy se obvykle přivádějí binární stavy silových prvků a informace od dalších přístrojů, které např. blokují určité funkce ochrany. Binární výstupy pak slouží pro povely spínacím přístrojům a také pro odeslání informací dálkové signalizace. [17]

## **Prvky čelního panelu**

Je vybaven programovatelnými LED diodami, které signalizují stav ochrany a nejdůležitější provozní i poruchové události. Pomocí LC displeje a klávesnice lze pak zobrazit další důležité údaje, jako jsou aktuální měřené hodnoty proudu a napětí, poruchové události, stavy prvků apod. Je také možné provádět nastavení základních parametrů ochrany a manipulovat se silovými prvky. [17]

## **Mikroprocesorový systém**

Mikroprocesorový systém zpracovává všechny funkce přístroje, mezi které např. patří: [17]

- trvalá kontrola měřených veličin
- filtrace a úprava měřených veličin
- kontrola podmínek pro náběh ochranných funkcí
- dotaz na mezní hodnoty a časové průběhy
- řízení signálů pro logické funkce
- rozhodnutí o vypínacích a zapínacích povelích
- záznam informací a poruchových dat
- správa operačního systému a jeho funkcí
- komunikace, rozhraní
- vnější distribuce informací

## **Sériové rozhraní**

Sériové rozhraní se nachází na čelní straně přístroje a zajišťuje komunikaci s PC při použití programu DIGSI. To umožňuje ovládání všech funkcí přístroje. Další rozhraní na zadní straně je určeno pro další komunikační protokoly. [17]

## **Napájecí zdroj**

Vnitřní zdroj zajišťuje napájení jednotlivých funkčních celků ochrany. Výpadky napájecího napětí krátkodobého rázu jsou překlenuty pomocí kondenzátorů. [17]

## Ochranné a automatizační funkce

Ochrana SIPROTEC 7SJ85 může být vybavena následujícími ochrannými a automatizačními funkcemi: [17]

- nadproudová ochrana, fázová
- napětově závislá nadproudová ochrana, fázová
- nadproudová ochrana, zemní
- nadproudová ochrana pro kondenzátorové baterie
- směrová nadproudová ochrana, fázová
- směrová nadproudová ochrana, zemní
- detekce zapínacího proudu
- mžiková zkratová ochrana
- mžikové vypnutí při zapnutí do poruchy
- nadproudová ochrana, 1-fázová
- nesměrová ochrana přerušovaných zemních poruch
- citlivá detekce zemních spojení
- podproudová ochrana
- ochrana na zpětnou složku s nezávislou charakteristikou
- směrová ochrana na zpětnou složku s proudově nezávislým časem zpoždění
- tepelná ochrana proti přetížení
- tepelná ochrana proti přetížení pro kondenzátorové baterie
- ochrana proti nesymetrické zátěži
- ochrana proti proudové nesymetrii pro kondenzátory
- přepětová ochrana s 3-fázovým napětím
- přepětová ochrana s nulovou složkou napětí/zbytkovým napětím
- přepětová ochrana se souslednou složkou napětí
- přepětová ochrana se zpětnou složkou napětí
- přepětová ochrana s libovolným napětím
- ochrana proti přepětovým špičkám pro kondenzátory
- podpětová ochrana s 3-fázovým napětím
- podpětová ochrana se souslednou složkou napětí
- podpětová ochrana s libovolným napětím
- nadfrekvenční ochrana
- podfrekvenční ochrana
- ochrana rychlosti změny frekvence
- obecná 3-fázová výkonová ochrana
- podpětová ochrana řízená jalovým výkonem
- automatika selhání vypínače
- zemní rozdílová ochrana
- automatika opětného zapnutí
- lokátor poruch, jednostranný
- kontrola teploty

- detekce proudového skoku
- detekce napěťového skoku

### Řídící funkce

Přístroje řady SIPROTEC 5 slouží nejen jako kombinovaná ochrana, ale lze je také nasadit jako řídicí přístroj pole řídicího systému stanice. K tomuto účelu disponuje výkonným zpracováním povelů a dalšími nezbytnými funkcemi. Objektový model přístroje je založen na standardu IEC 61850, díky kterému je zajištěna možnost integrace do rozvodn s komunikačním protokolem IEC 61850. Podporované jsou však i další protokoly. [17]

## 4.4 Použitá měřicí zařízení a software

Při diagnostice ochran na rozvodně Olomouc – Hodolany (R 22 kV) byly provedeny výhradně sekundární zkoušky. Od toho se odvíjí typ použitých měřicích přístrojů a zkušebních zařízení.

### 4.4.1 Omicron CMC 353

Omicron CMC 353 je výkonné zařízení, které se vyznačuje vysokou přesností. Je určeno pro testování elektrických ochran, měřicích převodníků, elektroměrů a analyzátorů kvality sítě. Přístroj je plně řízený přes PC pomocí programu Omicron Test Universe. Omicron CMC 353 má následující základní vlastnosti: [26]

- čtyři výstupní napětí
- tři výstupní proudy
- snímání binárních signálů a čítačových hodnot (binární vstupy 10x)
- výstup binárních signálů (4x)
- možnost testování ochran s přístroji IEC 61850
- možnost napájení testovaného objektu stejnosměrným napětím
- řízení vnějších zesilovačů (až 12 dodatečných zkušebních napětí) přes rozhraní malých signálů



Obr. 21 Univerzální testovací zařízení Omicron CMC 353 [25]



## **Napěťové výstupy**

Přístroj je vybaven čtyřmi napěťovými výstupy se společným nulovým vodičem N, které jsou realizovány ve dvou napěťových rozsazích:

- rozsah 1: 4 x 0 ... 150 V
- rozsah 2: 4 x 0 ... 300 V

Napěťové výstupy jsou zajištěny proti chodu naprázdno, přetížení a zkratům L-N. Přetížení je indikováno pomocí softwaru Omicron Test Universe na obrazovce počítače. [26]

## **Proudové výstupy**

K dispozici jsou tři proudové výstupy, které jsou vztažené na společný nulový vodič N a jsou galvanicky oddělené od ostatních konektorů přístroje. Podle typu propojení výstupních zdírek může být proudový rozsah:

- 3-fázový AC (L-N) 3 x 0 ... 32 A
- 1-fázový AC (L-L) 3 x 0 ... 32 A
- 3-fázový AC (LL-NN) 1 x 0 ... 64 A
- DC (LL-NN) 1 x 0 ...  $\pm 90$  A

Technologie vložených zesilovačů s DC vazbou umožňují realizovat vysoké výkony při zachování kompaktních rozměrů přístroje. DC vazba rovněž umožňuje velmi přesně reprodukovat přechodné děje a stejnosměrné posuny. Všechny proudové výstupy jsou chráněné proti chodu naprázdno, zkratům a přetížení. Stejně jako u napěťových výstupů, je přetížení signalizováno na obrazovce počítače pomocí softwaru Omicron Test Universe. [26]

## **Binární vstupy**

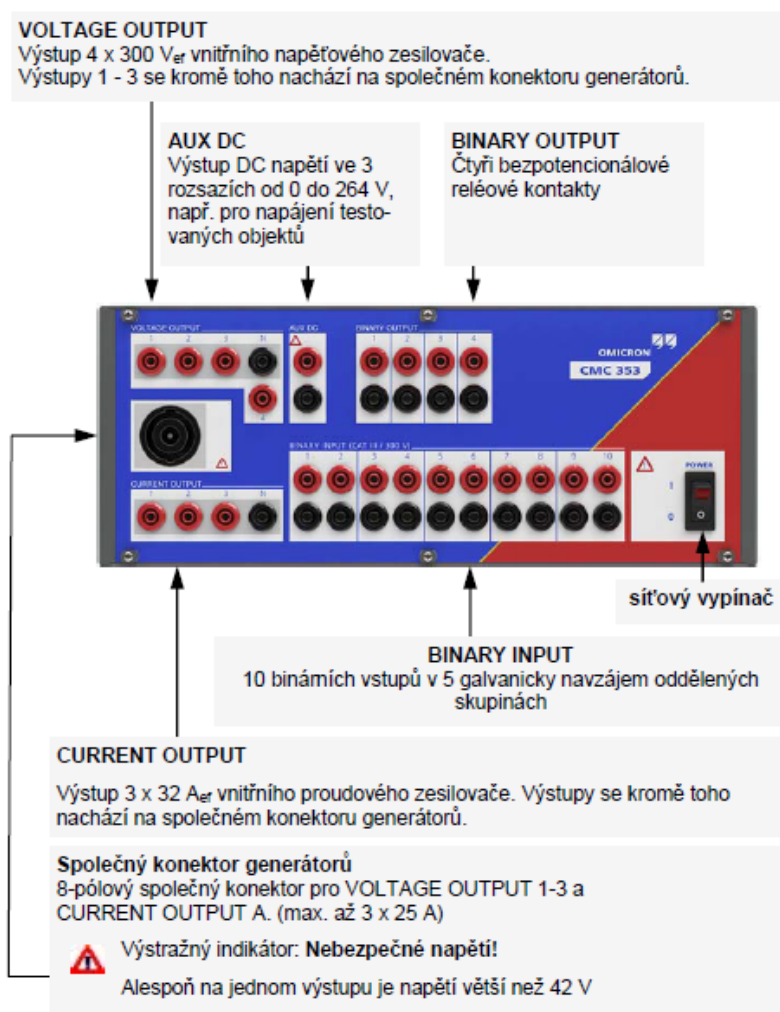
CMC 353 obsahuje 10 binárních vstupů, rozdělených po dvou do pěti galvanicky oddělených skupin. Vstupní signály se načítají v intervalu 100  $\mu$ s. Konfigurace binárních vstupů probíhá softwarově a lze konfigurovat, zda se jedná o kontakty s potenciálem nebo bez potenciálu. Všechny vstupy je rovněž možné použít jako čítačové, pro maximální vstupní frekvenci 3 kHz. [26]

## **Binární výstupy**

Přístroj má k dispozici čtyři binární výstupy, které lze využít jako bezpotenciálové relé. Konfigurace probíhá softwarově. [26]

## **Pomocný DC výstup**

Přístroj umožňuje napájení testovaných zařízení pomocí DC výstupu, který lze nastavovat v rozsahu 0 až 264 V. Tento výstup je galvanicky oddělený od všech ostatních výstupů na přední straně přístroje. [26]



Obr. 22 Popis konektorů na přední straně Omicron CMC 353 [26]

#### 4.4.2 Omicron Test Universe 4.20

Pro ovládání přístroje Omicron CMC 353 je nezbytné nainstalovat software Test Universe. Jedná se o softwarový nástroj, určený pro testování a kalibraci ochranných a měřicích zařízení v energetice. Nabízí širokou škálu nastavení a obsahuje mnoho testovacích modulů, které umožňují jak manuální, tak plně automatizované testování různých typů ochran a dalších zařízení.

Pro testování ochran 7SJ85 na rozvodně Olomouc – Hodolany byly použity zejména následující testovací moduly:

- **Overcurrent modul** (nadproudový modul) – umožňuje manuální nebo automatické testování směrových i nesměrových nadproudových charakteristik, a to jak časově nezávislých, tak závislých. Časové charakteristiky pro testování lze vytvářet buď přímo zadáním hodnot do tabulek, nebo vybírat z rozsáhlého seznamu předdefinovaných charakteristik.
- **State Sequencer** (sekvencer) – modul slouží k testování ochran pomocí několika po sobě jdoucích stavů, které tvoří testovací sekvenci. Každému stavu lze přiřadit různé výstupní hodnoty napětí, proudů a binárních výstupů. Přejít do následujícího stavu je podmíněn splněním předem zadaných podmínek, např. definovaným časovým limitem nebo na základě

stavu signálů monitorovaných binárními vstupy. Tento modul byl při testování použit pro ověření správné funkce dynamického přepínání parametrů a automatiky OZ.

- **Ramping modul** – slouží k přesnému určení náběhové hodnoty měřené veličiny ochranou. Princip spočívá v generování ramp (postupném zvyšování popř. snižování) velikosti, fáze nebo frekvence pro napěťové a proudové výstupy. Pomocí tohoto modulu byla ověřována přesnost působení funkce frekvenční ochrany v SIPROTEC 7SJ85.
- **Quick CMC** – modul je vhodný pro provádění rychlých manuálních testů ochrany. Hodnoty výstupních veličin lze zadávat numericky nebo dynamicky umístěním prvků do fázorového diagramu. Modul byl využit např. pro ověření přesnosti měření proudů a napětí ochranou, funkci zemní směrové ochrany, signalizaci proudové a napěťové nesymetrie nebo při funkčních zkouškách nadproudové ochrany s vypínačem.

Bližší informace o konfiguraci jednotlivých modulů pro testování různých funkcí ochrany jsou uvedeny v dalším textu.

#### 4.4.3 Multimetr Fluke 175

Baterií napájený digitální multimetr Fluke 175 se vyznačuje vysokou přesností měření a jednoduchostí použití. Mezi jeho klíčové vlastnosti patří: [27]

- TRMS napěťové a proudové měření.
- Měření frekvence, kapacit, odporu, spojitosti diod, teploty.
- Digitální displej s analogovým sloupcovým grafem.
- Manuální i automatické nastavení rozsahů.
- Možnost zmrazení displeje.
- Záznam minimálních, maximálních a průměrných hodnot.
- Dvojnásobná rychlost měření proti klasickým multimetrům.



Obr. 23 Multimetr Fluke 175

## 4.5 Příprava testování ochran

Diagnostika ochran obsahuje řadu činností, které již byly stručně popsány v kapitole 4.2. Tato část diplomové práce se detailněji zabývá praktickým postupem při testování ochran pomocí testovacího zařízení Omicron CMC 353. Tímto zařízením byly postupně prověřeny důležité ochranné a signalizační funkce multifunkčních ochran SIPROTEC 7SJ85. V této diplomové práci je detailněji uvedena diagnostika čtyř ochran. Dvě z nich slouží k chránění venkovních a kabelových vedení (VN303, VN393) a další dvě chrání sekundární stranu transformátorů 110/22 kV (T101, T102). Data z dalších testovaných ochran jsou použita pak v kapitole 4.8, která analyzuje rychlost působení vybraných ochranných funkcí.

### 4.5.1 Přehled nastavení ochran

V Tab. 5 je uveden základní přehled aktivních a neaktivních ochranných funkcí jednotlivých testovaných ochran.

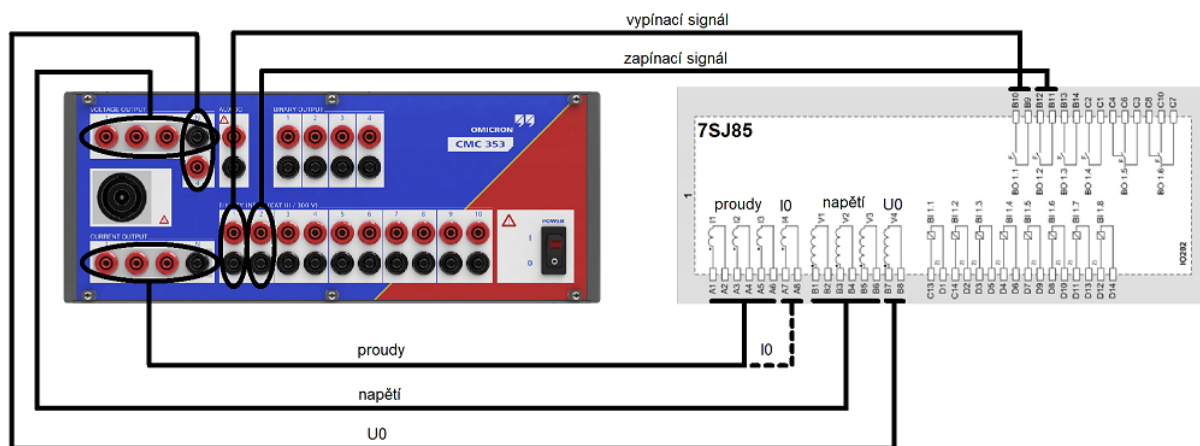
Tab. 5 Aktivní a neaktivní ochranné funkce u testovaných ochran

kodka	chráněný objekt	Typ ochranné funkce									
		nadproudová směrová	nadproudová nesměrová	I dynamické (CLP)	zemní nesměrová	zemní směrová	nesymetrie $I_2$	nesymetrie U	frekvenční	přepětová	automatika OZ
AVA10	VN303	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓
AVA12	VN393	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	✓
AVA17	T101	—	✓	—	—	—	—	✓	—	✓	—
AVA29	T102	—	✓	—	—	—	—	✓	—	✓	—

Ochrany, které chrání venkovní nebo kabelová vedení mají nastavené dvě sady parametrů. Mezi sadami lze přepínat v závislosti na režimu provozu. První se používá pro běžný provozní stav, druhá pak pro tzv. zvláštní režim provozu (ZRP). Ten se používá v případech, kdy probíhají práce pod napětím na daném vedení vysokého napětí. Nastavení obou sad parametrů je obdobné, avšak zásadní rozdíl je v nulových vypínacích časech nadproudové a zemní nesměrové ochrany (ochrana na nulovou složku napětí) při režimu ZRP (2. sada). V běžném provozním režimu (1. sada) dochází při vzniku zemního spojení pouze k jeho signalizaci. V režimu ZRP také není možné z bezpečnostních důvodů používat automatiku OZ.

### 4.5.2 Úvodní konfigurace Omicron Test Universe

Před prvním testováním ochran pomocí programu Test Universe je potřeba vytvořit nový testovací dokument a provést základní konfiguraci hardwaru. Na Obr. 24 je znázorněno zjednodušené zapojení Omicronu a ochrany, které nám pomůže při konfiguraci analogových a digitálních vstupů a výstupů Omicronu.



Obr. 24 Zjednodušené schéma zapojení Omicronu a ochrany

1. V úvodním okně programu vybrat položku *New Test Document*.
2. V testovacím dokumentu rozklikneme *Test Object* a v položce *Device* zadáme základní informace o testovaném zařízení.
3. V testovacím dokumentu rozklikneme *Hardware Configuration*. V záložce *General* klikneme na *Configure*, kde provedeme nastavení analogových výstupů Omicronu. Nastavíme napěťový výstup 4 x 300 V a proudový na 3 x 32 A.
4. V záložce *Analog Outputs* označíme a popíšeme analogové výstupy Omicronu, které budou použity pro spojení s analogovými vstupy ochrany.

General		Analog Outputs									
		CMC353 V A HH244C				CMC353 V B HH244C		CMC353 I A HH244C			
Display Name	Connection Terminal	1	2	3	N	1	N	1	2	3	N
<b>fTVaL1</b>	<b>XV - 1</b>	X									
fTVaL2	XV - 2		X								
fTVaL3	XV - 3			X							
fTVaN	XV - 4				X						
U 0	XV - 6, 7					X					
fTAbl1	XA - 11							X			
fTAbl2	XA - 13								X		
fTAbl3	XA - 16									X	
fTAblN	XA - 17										X
fTAp L, N	XA - 21, 23										

Obr. 25 Konfigurace analogových výstupů Omicronu

5. V záložce *Binary / Analog Inputs* nakonfigurujeme binární vstupy Omicronu, které budou snímat vypínací a zapínací povely od ochrany.

General		Analog Outputs		Binary / Analog Inputs				Binary Outputs				DC Analog Inputs				Time Source								
		CMC353 HH244C																						
Function		Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Counter							
Potential Free		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
Nominal Range		220 V	220 V	220 V	220 V																			
Threshold		154 V	154 V	154 V	154 V																			
Display Name	Connection Terminal	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+	5-	6+	6-	7+	7-	8+	8-	9+	9-	10+	10-	1	2	N
f1QM	X1 - 61	X																						
f2QM	X1 - 66 - odpoj			X																				
-1.11	X1 - 6																							

Obr. 26 Konfigurace binárních (analogových) vstupů Omicronu

6. V záložce *Binary Outputs* provedeme konfiguraci binárních výstupů ochrany, které nám mohou simulovat stav vypínače.

General		Analog Outputs		Binary / Analog Inputs		Binary Outputs		DC Analog Inputs		Time Source							
		CMC353 HH244C															
		Relay Outputs								Transistor Outputs							
Display Name		Connection Terminal		1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	11	12	13	14	N	
	f4QM	F101 - 3A2 - odpoj				X											
	f3QM	F101 - 3A1 - odpoj		X													
	+1.13	X1 - 25															

Obr. 27 Konfigurace binárních výstupů Omicronu

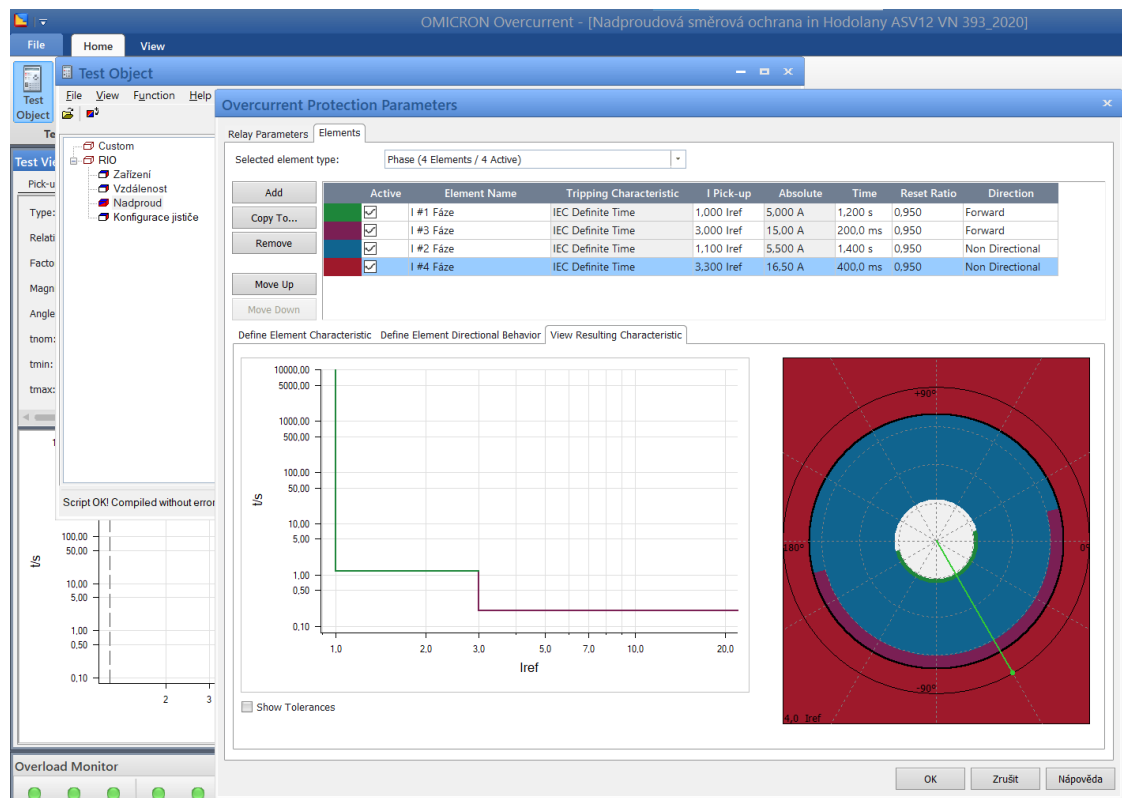
#### 4.5.3 Příprava testů nadproudových charakteristik

Všechny testované ochrany mají nastavené dva časově nezávislé stupně nadproudové ochrany – první nadproudový a druhý zkratový, časově závislá charakteristika zde není aktivní. U ochran vedení jsou aktivní směrové i nesměrové charakteristiky, ochrany na sekundárních vývodech transformátorů mají jen nesměrovou charakteristiku.

#### Nastavení programu Test Universe

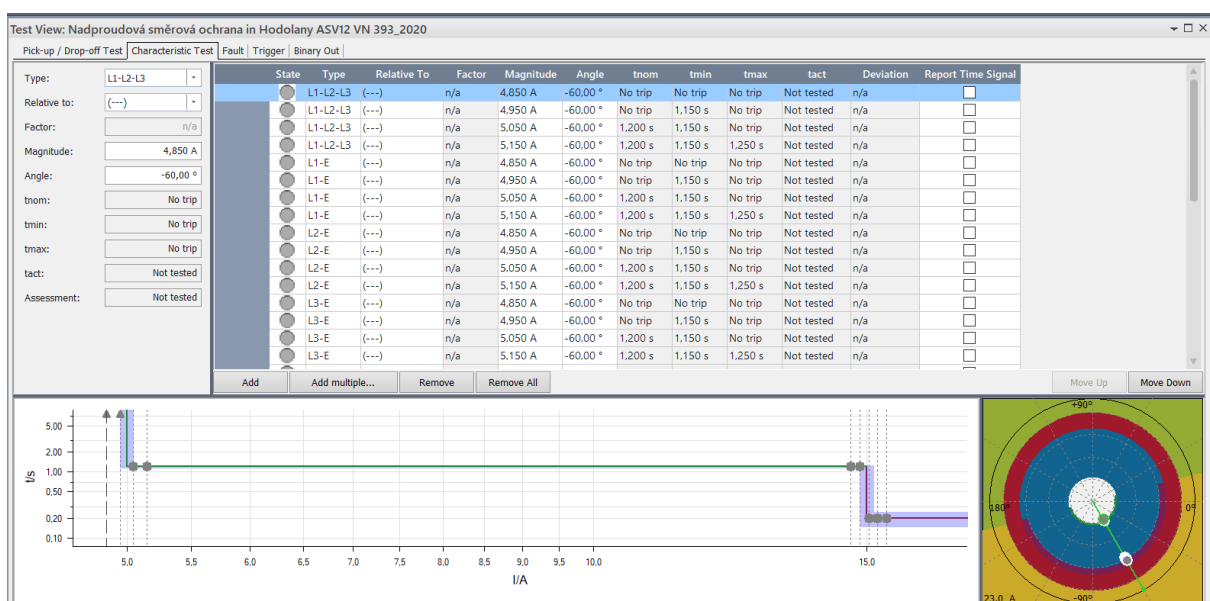
Pro test nadproudových charakteristik ochran byl použit nadproudový (overcurrent) modul v programu Test Universe. Stručný postup vytvoření testů je shrnut do následujících tří bodů.

1. Pro vložení nadproudového modulu do testovacího dokumentu použijeme záložku *Insert*, zde klikneme na *Test Module* a vybereme *Overcurrent*. Modul si můžeme libovolně pojmenovat, například podle typu nadproudové funkce, kterou testujeme.
2. Nastavení nadproudových charakteristik provedeme v *Test Object*, položka *Overcurrent*. V záložce *Relay Parameters* nastavíme směrové chování ochrany, způsob přizemnění napěťových a proudových měničů a také tolerance vypínacích proudů a časů. Poté vybereme záložku *Elements*, kde již lze nastavit parametry jednotlivých nadproudových stupňů a definovat jejich směrovost.



Obr. 28 Nastavení vypínací charakteristiky nadproudové ochrany v Test Universe

- Samotný test vytvoříme ve vloženém Overcurrent modulu. V záložce *Characteristic Test* vybereme tlačítko *Add multiple shots*. Pomocí tohoto tlačítka můžeme hromadně vkládat hodnoty proudů, kterými budeme testovat ochranu. Vypínací časy, včetně tolerancí k daným proudům, program následně dopočítá sám podle již dříve zadaných charakteristik. Test provedeme pro jednofázové a třífázové poruchy. Po provedení testu dojde k jeho automatickému vyhodnocení.



Obr. 29 Příklad testu pro nadproudovou ochranu

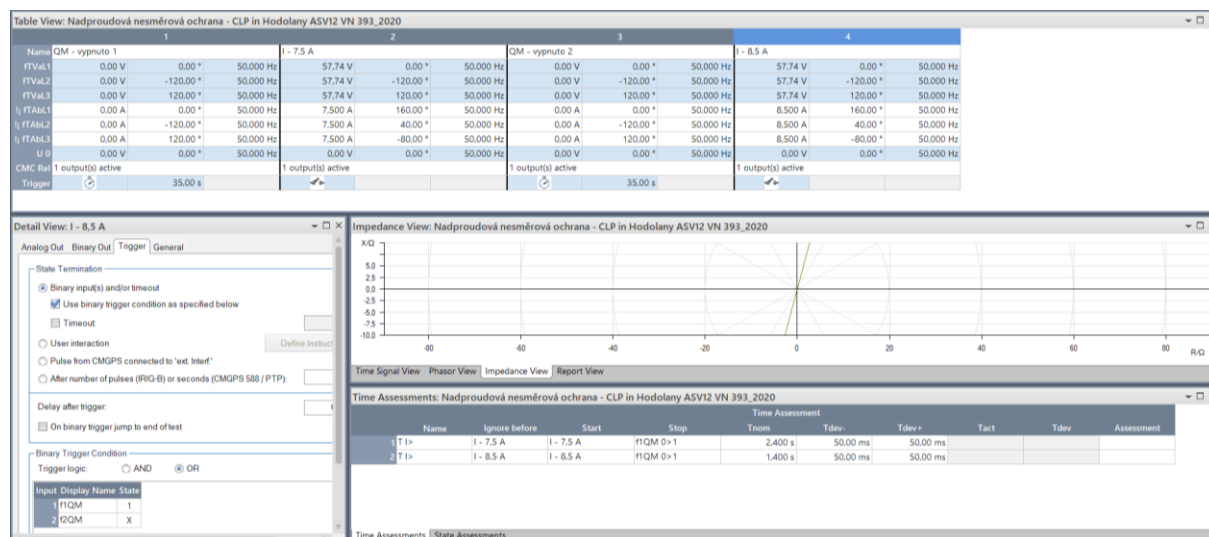
#### 4.5.4 Příprava testů dynamického přepínání parametrů (CLP)

Funkce dynamického přepínání parametrů se používá při tzv. studeném spínání vedení, kdy se předpokládá zvýšený proudový odběr ihned po zapnutí. Tato funkce zpozdí působení nadproudových ochran (obvykle o 1 s), pokud není překročena nastavená dynamická náběhová hodnota proudu pro tuto funkci. Ochrana detekuje sepnutí ze studeného stavu v případě, když je překročena nastavená doba vypnutého stavu vypínače (u testovaných ochran je to 35 s).

Pro zkoušky této funkce je použit modul State Sequencer (sekvencer). Princip testu spočívá v měření vypínacích časů nadproudové ochrany, která je zatěžována proudem nižším a poté vyšším než je nastavená dynamická náběhová hodnota proudu pro studené sepnutí.

##### Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert* klikneme na *Test Module* a vybereme *State Sequencer*.
2. Ve vloženém modulu *State Sequencer* a záložce *States*, kliknutím na *State After* přidáváme další stavy. Celkem budeme potřebovat čtyři stavy, přičemž 1. a 3. stav simulují vypnutý stav vypínače do doby, než dojde k aktivaci funkce CLP. Jednotlivé stavy lze libovolně pojmenovat.
3. Ve stavech č.2 a č.4 nastavíme jmenovité napětí a proudy pod a nad dynamickou náběhovou hodnotu. Dále nastavíme směr poruchy pomocí fázového posunu mezi proudem a napětím.
4. Pro jednotlivé stavy definujeme podmínku přechodu do následujícího stavu. Pro stavy č.1 a č.3 je to uplynutí nastaveného času, pro stav č.2 a č.4 je to detekce vypínacího povelu od ochrany.
5. V podokně *Time Assessments* nastavíme vypínací časy ochrany, po provedení testu tak dojde k automatickému vyhodnocení.



Obr. 30 Test dynamického nastavení parametrů při studeném zapnutí



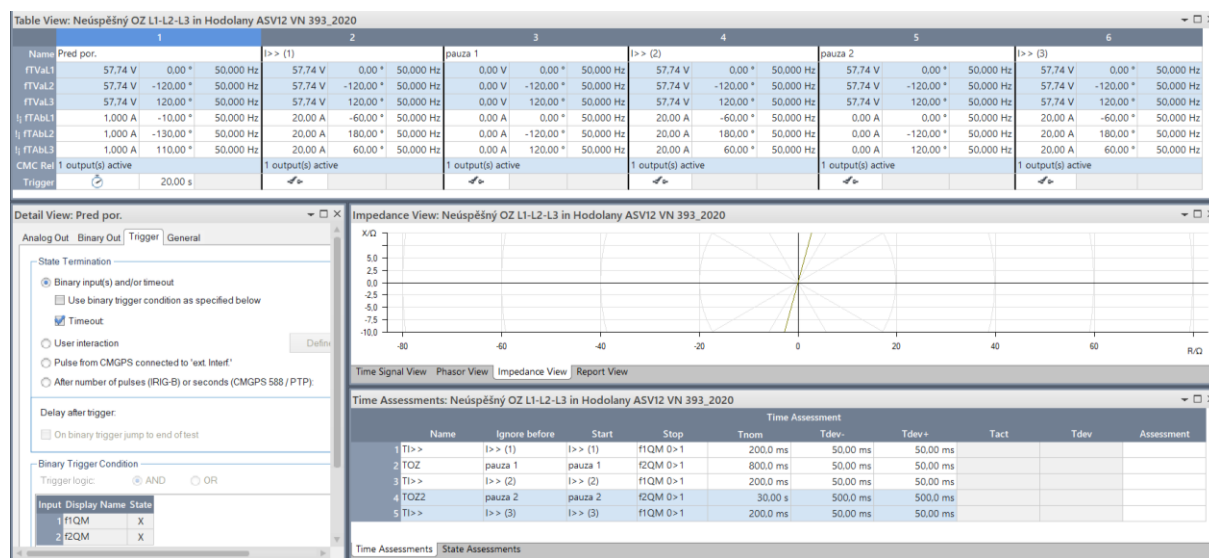
#### 4.5.5 Příprava testů pro automatiku OZ

Automatika opětného zapínání se využívá u venkovních vedení. U testovaných ochran jsou to vedení VN303 a VN393. Je zde nastaven režim dvojitého OZ pro směrovou zkratovou ochranu. První beznapěťová pauza trvá 0,8 s, druhá pak 30 s. Blokovací doba této funkce po zapnutí vypínače je 20 s.

Pro ověření správné funkce OZ je použit State Sequencer, alternativně lze použít Autoreclosure modul, který je přímo určen pro test automatik OZ.

#### Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert* klikneme na *Test Module* a vybereme *State Sequencer*.
2. Ve vloženém modulu *State Sequencer* a záložce *States*, kliknutím na *State After* přidáváme další stavy. Celkem potřebujeme šest stavů.
3. Stav č.1 simuluje zapnutý stav vypínače, jako podmínku přechodu do dalšího stavu nastavíme čas blokovací doby 20 s.
4. Stavy č.2, č.4 a č.6 představují zkrat na vedení, proud nastavíme nad hodnotu směrového zkratového stupně ochrany. Přechod do dalšího stavu podmíníme detekcí vypínacího povelu od ochrany na binárním vstupu Omicronu.
5. Stavy č.3 a č.5 představují beznapěťovou pauzu. Přechod do dalšího stavu je podmíněn detekcí zapínacího povelu od ochrany na binárním vstupu ochrany.
6. Pro automatické vyhodnocení testu nastavíme v podokně *Time Assessments* vypínací a zapínací časy ochrany.



Obr. 31 Test automatiky OZ

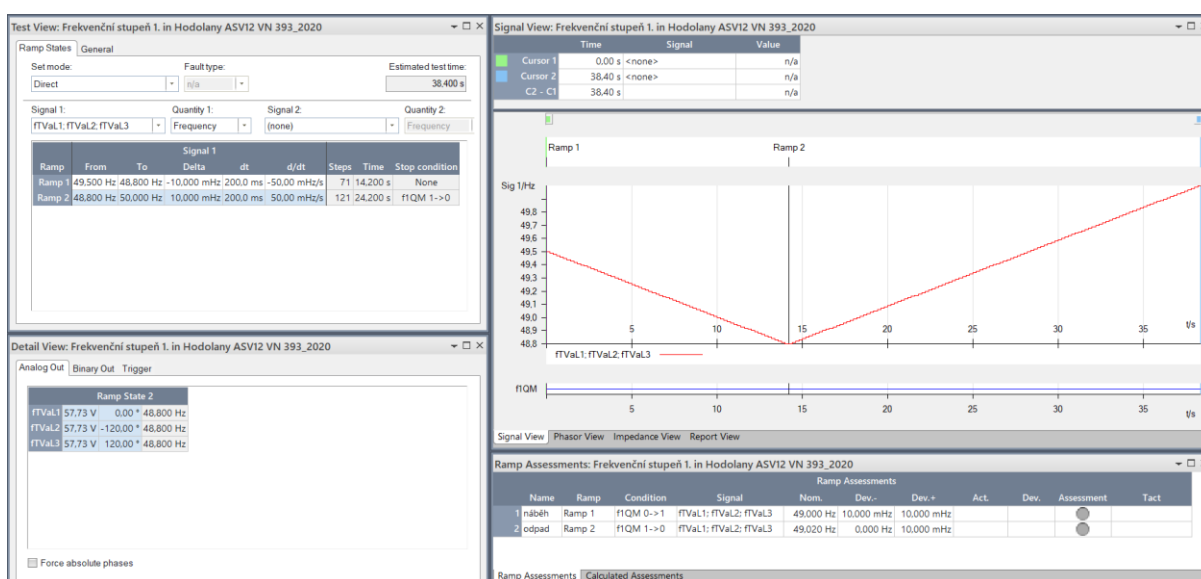
#### 4.5.6 Příprava testů frekvenčních ochran

Frekvenční ochrana je nakonfigurována jen u kabelových a venkovních vedení a to ve čtyřech frekvenčních stupních – 49,0 Hz, 48,7 Hz, 48,4 Hz a 48,0 Hz. Ty lze podle potřeby přepínat dle plánu frekvenčního odlehčování. V případě poklesu frekvence pod nastavenou mez dochází k okamžitému vypnutí bez časového zpoždění.

Pro určení přesné náběhové hodnoty jednotlivých frekvenčních stupňů použijeme Ramping modul, pro měření vypínacích časů State Sequencer.

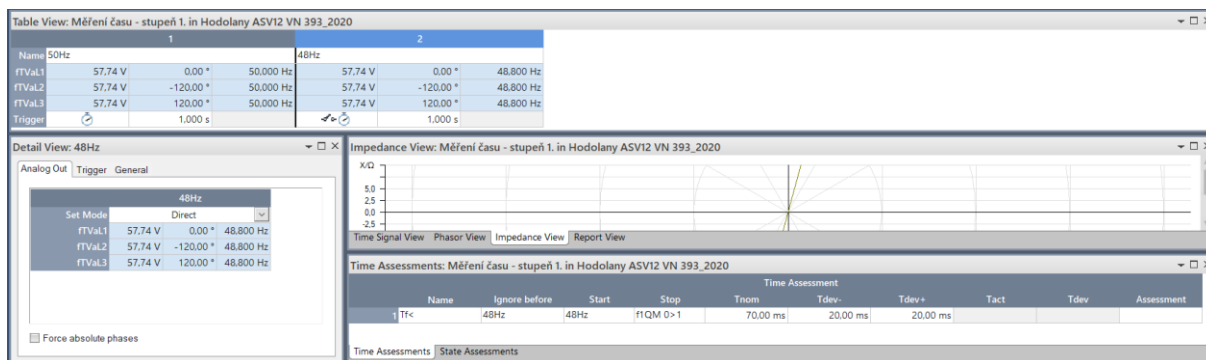
### Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert* klikneme na *Test Module* a vybereme *Ramping*.
2. Ve vloženém *Ramping* modulu a záložce *Ramp States*, *Signal 1* vybereme napěťové výstupy Omicronu, kde také nakonfigurujeme testovací rampu. Zadáme počáteční a koncovou hodnotu frekvence a také velikost kroku a jeho délku. Nakonfigurujeme dvě rampy, jednu pro náběh a druhou pro odpad.
3. Pro automatické vyhodnocení testu nastavíme v podokně *Ramp Assessments* hodnoty náběhu a odpadu.



Obr. 32 Test náběhové hodnoty 1. stupně frekvenční ochrany

4. Pro měření vypínacích časů frekvenční ochrany použijeme modul *State Sequencer*.
5. V *State Sequencer* a záložce *States*, kliknutím na *State After* přidáváme další stavy. Potřebujeme dva stavy.
6. Pro stav č.1 volíme frekvenci 50 Hz, pro stav č.2 pak hodnotu, která je nižší než testovaný stupeň frekvenční ochrany.
7. Pro automatické vyhodnocení testu je potřeba nastavit v podokně *Time Assessments* předpokládaný vypínací čas ochrany.



Obr. 33 Měření vypínacího času 1. stupně frekvenční ochrany

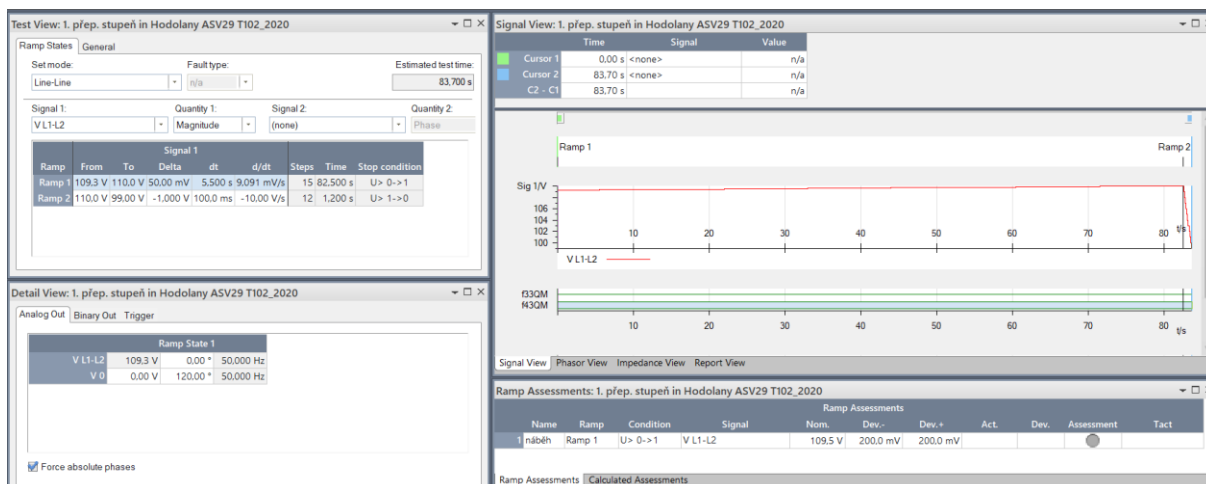
#### 4.5.7 Příprava testů přepětové ochrany a nesymetrie napětí u transformátorů

Z testovaných zařízení je tato ochranná funkce aktivní pouze u ochran transformátorů. Nakonfigurována je ve dvou přepětových stupních. První stupeň (109,5 V sekundárně) a nesymetrie napětí blokuji regulační povel na zvýšení napětí od automatiky regulace transformátoru, druhý stupeň (114,5 V sekundárně) pak vypíná jistič pohonu regulace.

Princip testů je stejný jako u frekvenční ochrany. Pro určení přesné náběhové hodnoty jednotlivých napětových stupňů použijeme Ramping modul, pro měření vypínacích časů State Sequencer. U napětové nesymetrie měříme pouze čas náběhu pomocí State Sequencer.

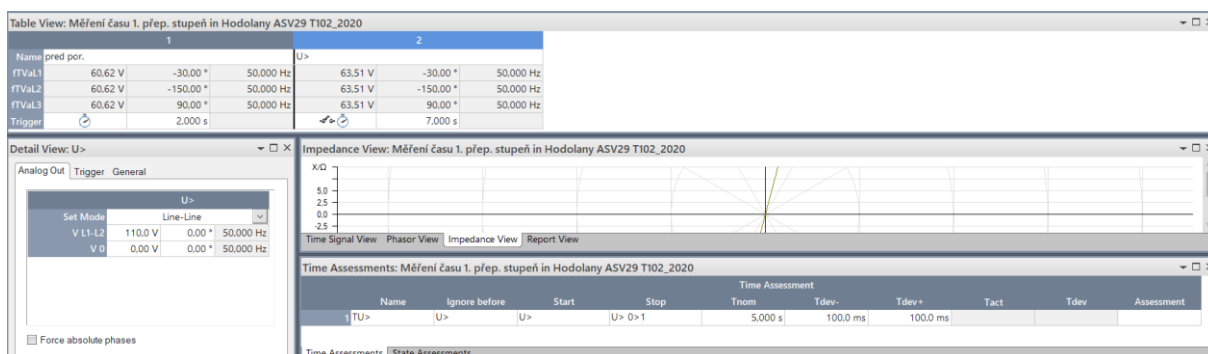
#### Nastavení programu Test Universe

1. V záložce *Insert* klikneme na *Test Module* a vybereme *Ramping*.
2. V *Ramping* modulu a záložce *Ramp States*, *Signal 1* vybereme napětové výstupy Omicronu a rovněž zde nakonfigurujeme testovací rampu. Je potřeba zadat počáteční a koncovou hodnotu napětí a také velikost kroku a jeho délku, která musí být delší, než je nastavená doba působení testovaného přepětového stupně.
3. Pro automatické vyhodnocení testu nastavíme v podokně *Ramp Assessments* náběhovou hodnotu napětí pro testovaný přepětový stupeň.



Obr. 34 Test náběhové hodnoty 1. stupně přepětové ochrany

4. Pro měření vypínacích časů přepětové ochrany a napětové nesymetrie použijeme modul *State Sequencer*.
5. V *State Sequencer* a záložce *States*, kliknutím na *State After* přidáváme další stavy. Budeme potřebovat dva stavy.
6. U přepětové ochrany ve stavu č.1 volíme hodnoty kolem provozního napětí, pro stav č.2 pak hodnotu, která je vyšší než testovaný stupeň přepětové ochrany. Při testu napětové nesymetrie ve stavu č.2 zadáme nulové napětí v jedné z fází.
7. Pro automatické vyhodnocení testu je potřeba nastavit v podokně *Time Assessments* náběhový čas ochrany.



Obr. 35 Měření času 1. stupně přepětové ochrany

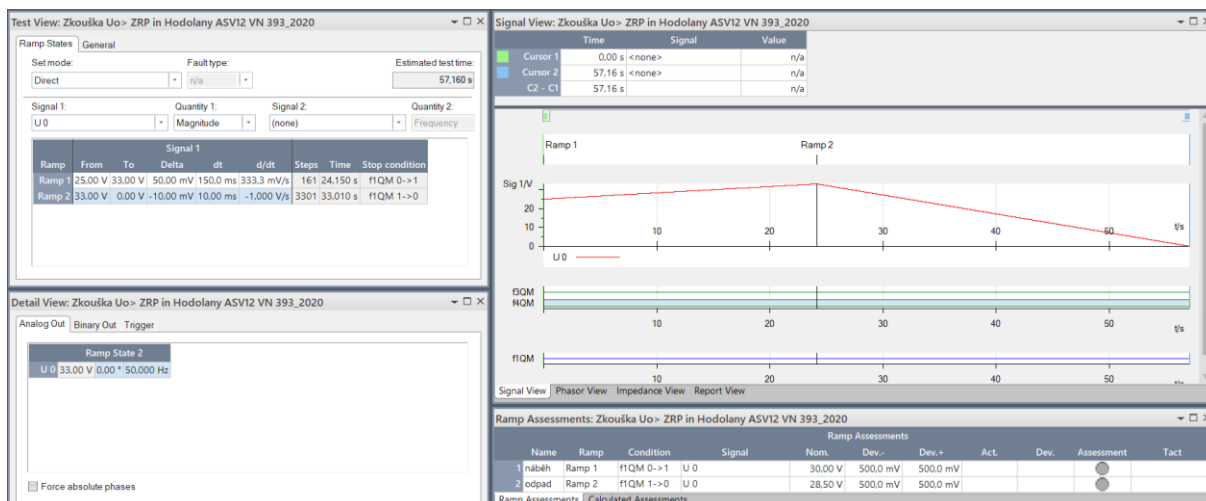
#### 4.5.8 Příprava testů zemní směrové a nesměrové ochrany

Zemní ochrany jsou aktivní na vývodech chránící venkovní a kabelová vedení. U testovaných ochran to jsou vedení VN303 a VN393. Zemní nesměrová ochrana signalizuje vznik nulové složky napětí (nastavená hodnota  $U_0$  je 30 V sekundárně), zemní směrová pak identifikuje konkrétní vývod se zemním spojením (nastavené sekundární hodnoty jsou 20 mA pro  $I_0$ , 15 V pro  $U_0$ ). V běžném provozu (aktivní 1. sada parametrů ochrany) dochází pouze k signalizaci vzniku zemního spojení, při režimu ZRP (aktivní 2. sada) pak zemní nesměrová ochrana daný vývod vypíná. Zemní nesměrová signalizuje vznik nulové složky napětí, zemní směrová ochrana identifikuje konkrétní vývod se zemním spojením.

Pro test zemní nesměrové ochrany při režimu ZRP použijeme Ramping modul k určení náběhové hodnoty a State Sequencer k měření vypínacího času. Kontrolu funkce zemní směrové ochrany provedeme pomocí modulu Quick CMC.

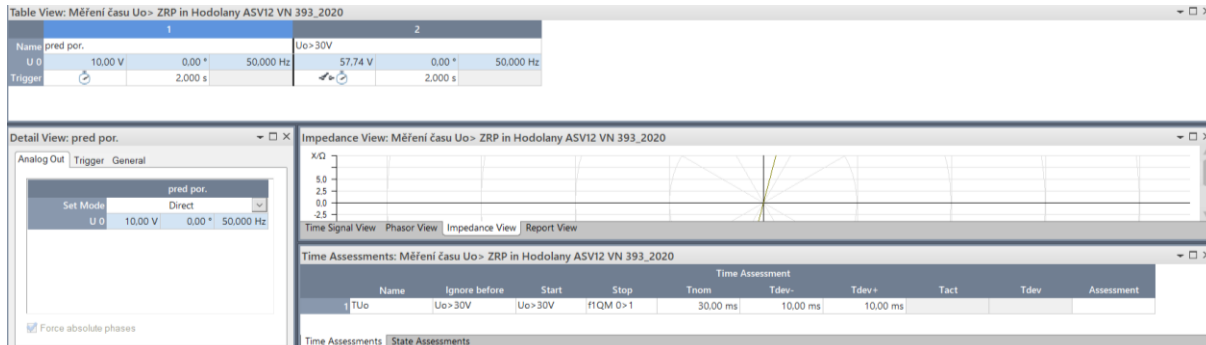
#### Nastavení programu Test Universe – zemní nesměrová ochrana při ZRP

1. V záložce *Insert* klikneme na *Test Module* a vybereme *Ramping*.
2. V *Ramping* modulu a záložce *Ramp States*, *Signal 1* vybereme napětový výstup Omicronu a nakonfigurujeme testovací rampy pro náběh a odpad.
3. Pro automatické vyhodnocení testu zadáme v podokně *Ramp Assessments* nastavenou hodnotu náběhu a odpadu zemní nesměrové ochrany.



Obr. 36 Test náběhové hodnoty zemní nesměrové ochrany

- Pro měření vypínacího času zemní nesměrové ochrany při ZRP použijeme modul *State Sequencer*.
- V *State Sequencer* a záložce *States*, kliknutím na *State After* přidáváme další stavy. Celkem potřebujeme dva stavy.
- U stavu č.1 volíme hodnotu menší než je náběhová hodnota  $U_0$ , ve stavu č.2 pak hodnotu vyšší.
- V podokně *Time Assessments* zadáme nastavený vypínací čas.

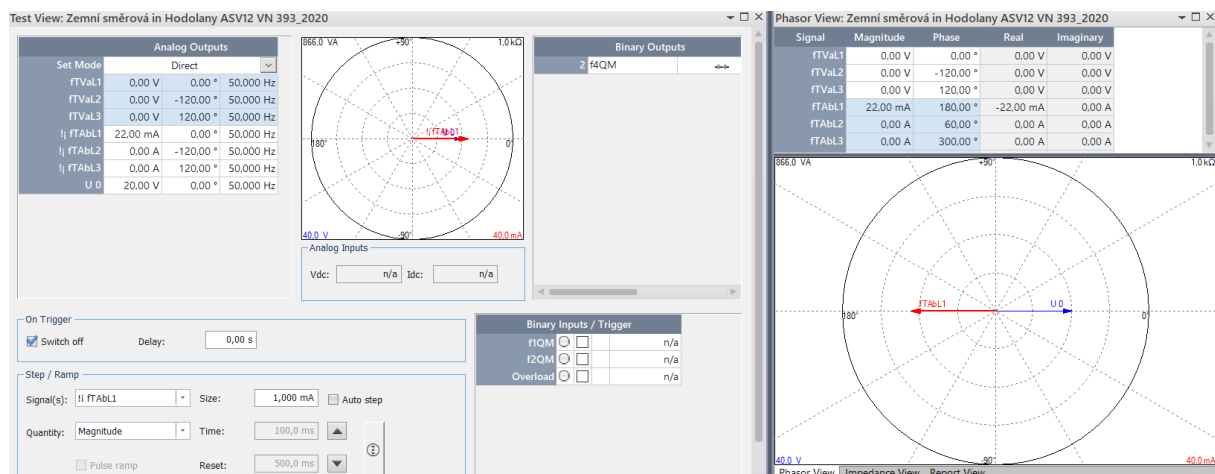


Obr. 37 Měření vypínacího času zemní nesměrové ochrany při ZRP

## Nastavení programu Test Universe – zemní směrová ochrana

Tato ochrana nevypíná vypínač, pouze signalizuje LED diodou na čelním panelu vznik zemního spojení. Je také odeslána hláška do nadřazeného ŘS pomocí protokolu IEC 61850. Na binárních výstupech ochrany není možno zaznamenat žádný signál, test se proto provádí manuálním zadáváním hodnot proudů a napětí v modulu Quick CMC a vizuální kontrolou ochrany.

- V záložce *Insert*, klikneme na *Test Module* a vybereme *Quick CMC*.
- V *Quick CMC* postupně zadáváme napětí  $U_0$  a proud  $I_0$  pod a nad nastavenou mez (sekundárně 20 mA pro  $I_0$ , 15 V pro  $U_0$ ) a měníme jejich vzájemný fázový posuv o 180°. Ochrana musí signalizovat zemní spojení pouze v jednom směru a v případě, že dojde současně k překročení nastavených hodnot  $U_0$  a  $I_0$ .



Obr. 38 Test zemní směrové ochrany v Quick CMC

#### 4.5.9 Testy dalších funkcí ochrany a měření

Pro ověření některých dalších ochranných a signalizačních funkcí je využit modul Quick CMC. Ten je vhodný pro provádění rychlých manuálních testů.

#### Proudová nesymetrie $I_2$

Tato ochranná funkce signalizuje překročení hodnoty (0,5 A sekundárně) zpětné složky proudu  $I_2$ . V Quick CMC je potřeba v *Analog Outputs* vybrat položku *Symmetrical components* (symetrické složky).

#### Napěťová nesymetrie u ochran vedení

Ochrany chránící vedení pouze signalizují vznik napěťové nesymetrie.

#### Lokátor poruch

Ověření funkce lokátoru poruch a správné odeslání údajů o vzdálenosti poruchy do dispečerského systému pomocí protokolu IEC 61850.

#### Logická ochrana rozvodny (LOR)

Při popudu zkratového stupně směrové nadproudové ochrany (67 Dir O/C-3ph-A1.Definite-T2.Pickup) na vývodu, musí dojít k zablokování zkratových stupňů nesměrových nadproudových ochran (50/51 Dir O/C-3ph-A1.Definite-T2.Block stage) na napájecích přívodech viz Tab. 6.

Tab. 6 LOR - logika blokování pro testované ochrany

destination			source (50/51 OC-3ph-A1.Defiite-T2->Block stage) - zkratový stupeň										
kobka	vývod	Digsi - označení	Digsi	AVA03	AVA07	AVA09	AVA13	AVA15	AVA17	AVA19	AVA25	AVA27	AVA29
				SP	vn968	vn967	T103	SPP	T101	vn349	vn316	vn2073	T102
AVA10	VN303	67 Dir.O/C-3ph-A1.Definite-T2.Pickup	LOR10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AVA12	VN393	67 Dir.O/C-3ph-A1.Definite-T2.Pickup	LOR12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

## Kontrola měření

Kontrola měření napětí, proudů a kmitočtu ochranou. Měřené hodnoty lze odečíst přímo z displeje ochrany.

### 4.5.10 Kompletní testovací dokument a praktické provedení zkoušek

Pro ověření řádné funkce ochrany je potřeba odzkoušet ochranné funkce ve všech nastavených parametrových sadách. Z tohoto důvodu je potřeba vytvořit testovací dokument, který obsahuje testy pro všechny nakonfigurované parametrové sady. Výsledný testovací dokument s nakonfigurovanou sadou testů pro kompletní zkoušku ochrany je zobrazen na Obr. 39.

Typ	Relativně k	Koefficient	Abs. hodnota	Úhel	tnom	tact	Odchylka	Přetížení	Výsledek
L1-L2-L3	(--)	nelze	4,850 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	4,950 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	5,050 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	5,150 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	4,850 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	4,950 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	5,050 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	5,150 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L2-E	(--)	nelze	4,850 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L2-E	(--)	nelze	4,950 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L2-E	(--)	nelze	5,050 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L2-E	(--)	nelze	5,150 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L3-E	(--)	nelze	4,850 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L3-E	(--)	nelze	4,950 A	-60,00 °	Bez překlopení		nelze		Netestováno
L3-E	(--)	nelze	5,050 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L3-E	(--)	nelze	5,150 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	14,65 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	14,85 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms		nelze		Netestováno
L1-L2-L3	(--)	nelze	15,45 A	-60,00 °	200,0 ms		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	14,65 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	14,85 A	-60,00 °	1,200 s		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms		nelze		Netestováno
L1-E	(--)	nelze	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms		nelze		Netestováno

Obr. 39 Kompletní sada testů pro zkoušku ochrany na vedení VN393

Vlastní fyzická realizace sekundárních zkoušek ochrany na rozvodně je zobrazena na Obr. 40. Testovací notebook s programem Test Universe je připojen pomocí USB kabelu k Omicronu CMC 353. Analogové výstupy (proud, napětí) Omicronu jsou připojené přímo na analogové vstupy ochrany. Při zkouškách je nutné rozpojit napěťovou svorkovnici, aby PTN nebyly ze sekundární strany pod napětím. U PTP je potřeba prověřit uzavřenost sekundárního obvodu.





Obr. 40 Provedení diagnostiky ochran v praxi na rozvodně Olomouc - Hodolany

## 4.6 Naměřené hodnoty a výsledky diagnostiky ochran

Při diagnostice ochran byly prováděny pouze sekundární zkoušky, uváděné jsou tedy pouze nastavené a měřené sekundární hodnoty. V případech, kdy je v ochraně nastaven nulový čas vypnutí, je v testech nastaven vypínací čas s určitým zpožděním, dle manuálu ochrany. Tento čas se může lišit v závislosti na testované funkci, např. pro nadproudovou ochranu je zpoždění cca 30 ms.

### 4.6.1 AVA10, VN303

Tab. 7 Základní informace o testované ochraně v kobce č.10

kobka	objekt	typ ochrany	výrobní číslo	firmware	PTP	součtový PTP	datum zkoušky
AVA10	VN303	7SJ85	BM1607005039	07.31	300 / 5 – 5 A	100 / 1 A	09.11.2020

### Test nadproudových funkcí

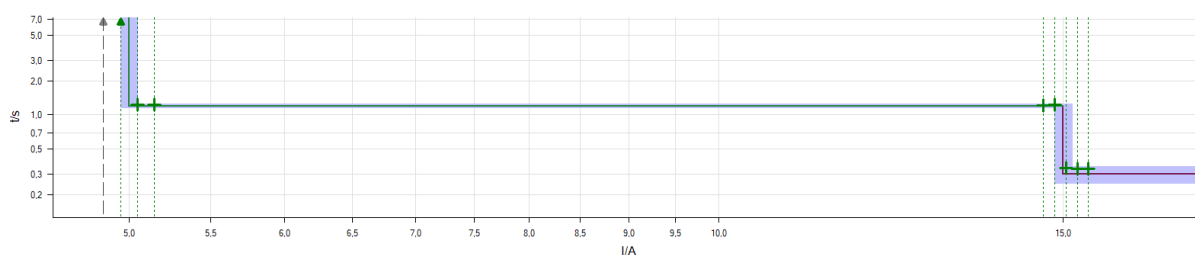
Tab. 8 Nastavení nadproudové ochrany pro VN303

nadproudové funkce	směrová					nesměrová				
	$I >$		$I_{dyn} >$		$I >>$	$I >$		$I_{dyn} >$	$I >>$	
	A	s	A	A	s	A	s	A	A	s
nastavení pro 1. sadu	5	1,2	7,5	15	0,3	5,5	1,4	8,0	16,5	0,5
nastavení pro 2. sadu	5	0,0	–	15	0,0	5,5	0,0	–	16,5	0,0



Tab. 9 Test směrové nadproudové ochrany VN303 (1. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	$t_{nom}$	$t_{act}$	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,236 s	2,975 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,231 s	2,583 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,239 s	3,275 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,238 s	3,175 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,241 s	3,408 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,232 s	2,625 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,233 s	2,717 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,233 s	2,775 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,222 s	1,867 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,223 s	1,883 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	300,0 ms	340,7 ms	13,57 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	300,0 ms	336,7 ms	12,23 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	300,0 ms	334,2 ms	11,40 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,224 s	1,992 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,223 s	1,875 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	300,0 ms	337,3 ms	12,43 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	300,0 ms	332,2 ms	10,73 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	300,0 ms	334,0 ms	11,33 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,223 s	1,900 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,222 s	1,850 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	300,0 ms	338,3 ms	12,77 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	300,0 ms	338,8 ms	12,93 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	300,0 ms	335,6 ms	11,87 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,228 s	2,317 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,224 s	1,967 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	300,0 ms	332,8 ms	10,93 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	300,0 ms	333,0 ms	11,00 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	300,0 ms	335,7 ms	11,90 %	No	Passed



Obr. 41 Charakteristika směrové nadproudové ochrany s testovacími body pro VN303

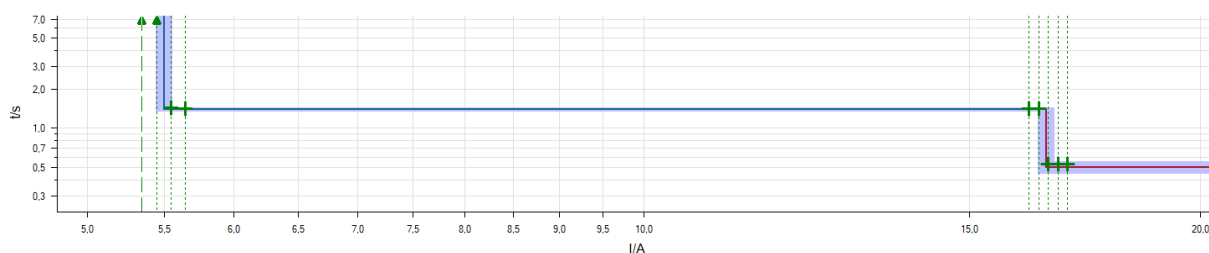
Tab. 10 Směrová nadproudová ochrana pro VN303 – dynamické přepínání parametrů (1. sada)

Název	Ignorovat před	Spustit	Zastavit	$T_{nom}$	$T_{dev-}$	$T_{dev+}$	$T_{act}$	$T_{dev}$	Vyhodnotit
T I>	I - 7 A	I - 7 A	f1QM 0>1	2,200 s	50,00 ms	50,00 ms	2,218 s	18,10 ms	+
T I>	I - 8 A	I - 8 A	f1QM 0>1	1,200 s	50,00 ms	50,00 ms	1,240 s	40,20 ms	+

Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno

Tab. 11 Test nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (1. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	$t_{nom}$	$t_{act}$	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,433 s	2,364 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,429 s	2,064 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,427 s	1,914 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,429 s	2,086 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,431 s	2,193 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,424 s	1,693 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,429 s	2,064 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,429 s	2,064 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,417 s	1,200 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,415 s	1,079 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	500,0 ms	526,1 ms	5,220 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	500,0 ms	526,2 ms	5,240 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	500,0 ms	526,4 ms	5,280 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,420 s	1,414 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,413 s	0,9143 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	500,0 ms	529,5 ms	5,900 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	500,0 ms	531,2 ms	6,240 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	500,0 ms	528,2 ms	5,640 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,414 s	1,014 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,421 s	1,464 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	500,0 ms	533,1 ms	6,620 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	500,0 ms	532,4 ms	6,480 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	500,0 ms	522,9 ms	4,580 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,416 s	1,136 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,417 s	1,207 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	500,0 ms	527,7 ms	5,540 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	500,0 ms	530,7 ms	6,140 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	500,0 ms	532,4 ms	6,480 %	No	Passed



Obr. 42 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (1. sada)

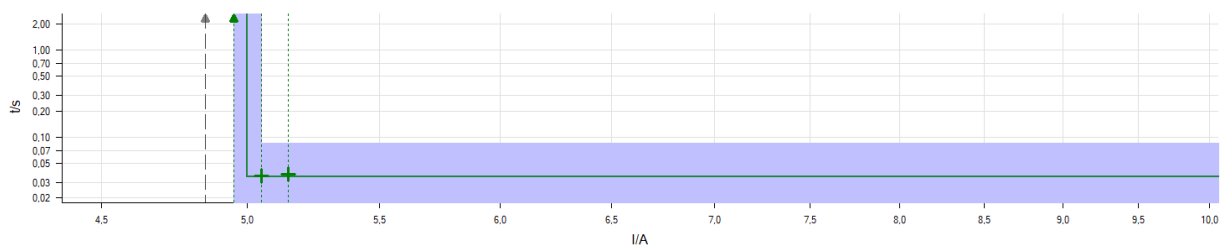
Tab. 12 Nesměrová nadproudová ochrana pro VN303 – dynamické přepínání parametrů (1. sada)

Name	Ignore before	Start	Stop	$T_{nom}$	$T_{dev-}$	$T_{dev+}$	$T_{act}$	$T_{dev}$	Assess
T I>	I - 7,5 A	I - 7,5 A	f1QM 0>1	2,400 s	50,00 ms	50,00 ms	2,405 s	5,100 ms	+
T I>	I - 8,5 A	I - 8,5 A	f1QM 0>1	1,400 s	50,00 ms	50,00 ms	1,430 s	29,90 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 13 Test směrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN303 (2. sada)

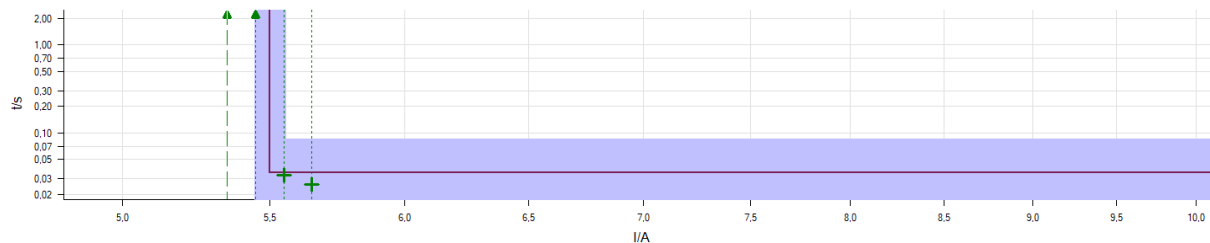
Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	$t_{nom}$	$t_{act}$	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	35,80 ms	2,286 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	37,00 ms	5,714 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	40,80 ms	16,57 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	44,00 ms	25,71 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	39,10 ms	11,71 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	41,30 ms	18,00 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	37,10 ms	6,000 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	43,70 ms	24,86 %	No	Passed



Obr. 43 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN303 (2. sada)

Tab. 14 Test nesměrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN303 (2. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	$t_{nom}$	$t_{act}$	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	33,20 ms	-5,143 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	25,80 ms	-26,29 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	31,80 ms	-9,143 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	34,30 ms	-2,000 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	33,10 ms	-5,429 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	30,00 ms	-14,29 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	34,70 ms	-0,8571 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	29,70 ms	-15,14 %	No	Passed



Obr. 44 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN303 (2. sada)

## Test automatiky OZ

Tab. 15 Nastavení automatiky OZ pro VN303

Doba beznapěťové pauzy	1. cyklus	2. cyklus
	s	s
nastavení pro 1. sadu	0,8	30
nastavení pro 2. sadu	–	–

Tab. 16 Test 3-pólového OZ pro VN303

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TI>>	I>> (1)	I>> (1)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	338,1 ms	38,10 ms	+
TOZ	pauza 1	pauza 1	f2QM 0>1	800,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	814,8 ms	14,80 ms	+
TI>>	I>> (2)	I>> (2)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	335,2 ms	35,20 ms	+
TOZ2	pauza 2	pauza 2	f2QM 0>1	30,00 s	500,0 ms	500,0 ms	30,01 s	14,70 ms	+
TI>>	I>> (3)	I>> (3)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	335,2 ms	35,20 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 17 Test 1-pólového OZ pro VN303

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TI>>	I>> (1)	I>> (1)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	340,9 ms	40,90 ms	+
TOZ	pauza 1	pauza 1	f2QM 0>1	800,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	814,8 ms	14,80 ms	+
TI>>	I>> (2)	I>> (2)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	335,2 ms	35,20 ms	+
TOZ2	pauza 2	pauza 2	f2QM 0>1	30,00 s	500,0 ms	500,0 ms	30,02 s	15,00 ms	+
TI>>	I>> (3)	I>> (3)	f1QM 0>1	300,0 ms	100,0 ms	100,0 ms	335,2 ms	35,20 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

## Test frekvenční ochrany

Frekvenční ochrana je pro vedení VN303 standardně vypnuta dle plánu frekvenčního odlehčování. Avšak všechny čtyři stupně frekvenční ochrany jsou nakonfigurovány a v případě potřeby je lze navolit, proto byly také testovány.

Tab. 18 Test frekvenční ochrany pro VN303

VN303	stupeň	1.	2.	3.	4.
	nastavení	49,00 Hz	48,70 Hz	48,40 Hz	48,00 Hz
1. sada	náběh	48,99 Hz	48,69 Hz	48,40 Hz	47,99 Hz
	vypínací čas	71,3 ms	77,4 ms	78,5 ms	76,0 ms
2. sada	náběh	48,99 Hz	48,69 Hz	48,40 Hz	47,99 Hz
	vypínací čas	76,4 ms	77,0 ms	84,9 ms	84,1 ms
nastavený stupeň		frekvenční ochrana vypnuta			

## Test zemní nesměrové ochrany při ZRP

Tab. 19 Měření náběhové hodnoty  $U_0$  při ZRP (nastaveno 30 V) pro VN303

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
náběh	Ramp 1	f1QM 0->1	U 0	30,00 V	30,05 V	500,0 mV	500,0 mV	50,00 mV	+	37,80 ms
odpad	Ramp 2	f1QM 1->0	U 0	28,50 V	28,52 V	500,0 mV	500,0 mV	20,00 mV	+	2,700 ms

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 20 Měření času vypnutí od  $U_0$  při ZRP pro VN303

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TU <sub>0</sub>	U <sub>0</sub> >60V	U <sub>0</sub> >60V	f1QM 0>1	30,00 ms	10,00 ms	10,00 ms	25,10 ms	-4,900 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

## Testy dalších ochranných funkcí v Quick CMC (manuální)

Tab. 21 Výsledky testů dalších ochranných funkcí a měření pro VN303

Sada / funkce	zemní směrová	nesymetrie $I_2$	nesymetrie $U$	kontrola měření	lokátor poruch
1. sada	✓	✓	✓	✓	✓
2. sada	netestováno	✓	✓	✓	✓

## Celkový výsledek diagnostiky ochrany

Tab. 22 Výsledek diagnostiky ochrany pro VN303

VN303	ochranné funkce a měření	kontrola LOR a blok. funkcí	kontrola hlášek do ŘS	uzavřenost proudových obvodů	funkční zkoušky s vypínačem
výsledek	✓	✓	✓	✓	✓
závěr	Ochrana je schopna bezpečného provozu.				

Testovaná ochrana VN303 prošla úspěšně všemi body testu a je schopna bezpečného provozu. Naměřená data odpovídají nastaveným hodnotám v rámci zadaných tolerancí a během testu nedošlo k žádnému abnormálnímu chování ochrany.

### 4.6.2 AVA12, VN393

Tab. 23 Základní informace o testované ochraně v kobce č.12

kobka	objekt	typ ochrany	výrobní číslo	firmware	PTP	součtový PTP	datum zkoušky
AVA12	VN393	7SJ85	BM1607005045	07.31	300 / 5 – 5 A	100 / 1 A	10.11.2020

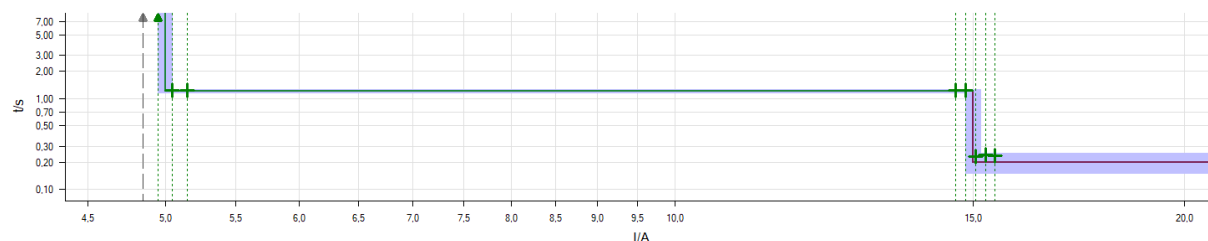
## Test nadproudových funkcí

Tab. 24 Nastavení nadproudové ochrany pro VN393

nadproudové funkce	směrová					nesměrová				
	$I >$		$I_{dyn} >$	$I >>$		$I >$		$I_{dyn} >$	$I >>$	
	A	s	A	A	s	A	s	A	A	s
nastavení pro 1. sadu	5	1,2	7,5	15	0,2	5,5	1,4	8,0	16,5	0,4
nastavení pro 2. sadu	5	0,0	-	15	0,0	5,5	0,0	-	16,5	0,0

Tab. 25 Test směrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,233 s	2,783 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,239 s	3,217 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,236 s	3,017 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,234 s	2,817 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,237 s	3,050 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,233 s	2,775 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	1,200 s	1,242 s	3,467 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	1,200 s	1,238 s	3,167 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,219 s	1,575 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,223 s	1,883 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms	232,5 ms	16,25 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms	240,2 ms	20,10 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	200,0 ms	235,3 ms	17,65 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,220 s	1,667 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,225 s	2,108 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms	242,1 ms	21,05 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms	240,7 ms	20,35 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	200,0 ms	237,1 ms	18,55 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,229 s	2,375 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,228 s	2,317 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms	238,0 ms	19,00 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms	234,7 ms	17,35 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	200,0 ms	235,0 ms	17,50 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	14,65 A	-60,00 °	1,200 s	1,220 s	1,675 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	14,85 A	-60,00 °	1,200 s	1,222 s	1,842 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,05 A	-60,00 °	200,0 ms	234,1 ms	17,05 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,25 A	-60,00 °	200,0 ms	239,2 ms	19,60 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	15,45 A	-60,00 °	200,0 ms	231,0 ms	15,50 %	No	Passed



Obr. 45 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada)



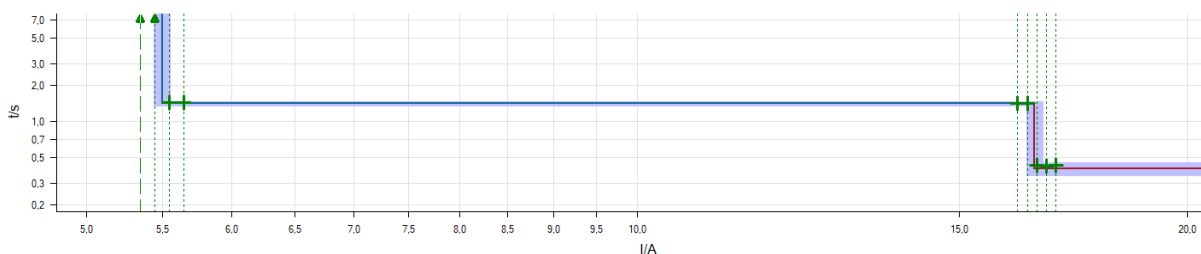
Tab. 26 Směrová nadproudová ochrana pro VN393 – dynamické přepínání parametrů (1. sada)

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
T I>	I - 7 A	I - 7 A	f1QM 0>1	2,200 s	50,00 ms	50,00 ms	2,227 s	26,70 ms	+
T I>	I - 8 A	I - 8 A	f1QM 0>1	1,200 s	50,00 ms	50,00 ms	1,240 s	40,10 ms	+

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

Tab. 27 Test nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,426 s	1,857 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,425 s	1,757 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,422 s	1,564 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,430 s	2,157 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,423 s	1,621 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,429 s	2,057 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	1,400 s	1,426 s	1,886 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	1,400 s	1,430 s	2,164 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,412 s	0,8429 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,414 s	0,9786 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	400,0 ms	425,8 ms	6,450 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	400,0 ms	423,9 ms	5,975 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	400,0 ms	429,3 ms	7,325 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,410 s	0,6857 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,411 s	0,7714 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	400,0 ms	425,4 ms	6,350 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	400,0 ms	428,2 ms	7,050 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	400,0 ms	425,3 ms	6,325 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,413 s	0,9214 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,412 s	0,8571 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	400,0 ms	426,1 ms	6,525 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	400,0 ms	426,9 ms	6,725 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	400,0 ms	426,3 ms	6,575 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,15 A	120,00 °	1,400 s	1,414 s	1,021 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,35 A	120,00 °	1,400 s	1,416 s	1,157 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,55 A	120,00 °	400,0 ms	427,9 ms	6,975 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,75 A	120,00 °	400,0 ms	427,1 ms	6,775 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	16,95 A	120,00 °	400,0 ms	424,2 ms	6,050 %	No	Passed



Obr. 46 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (1. sada)

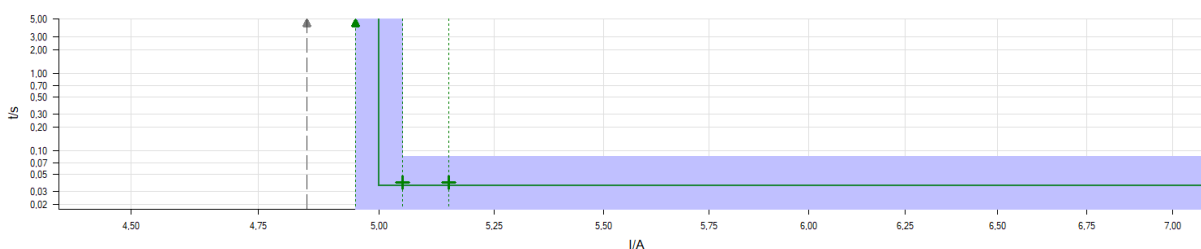
Tab. 28 Nesměrová nadproudová ochrana pro VN393 – dynamické přepínání parametrů (1. sada)

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
T I>	I - 7,5 A	I - 7,5 A	f1QM 0>1	2,400 s	50,00 ms	50,00 ms	2,409 s	9,200 ms	+
T I>	I - 8,5 A	I - 8,5 A	f1QM 0>1	1,400 s	50,00 ms	50,00 ms	1,430 s	29,90 ms	+

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

Tab. 29 Test směrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN393 (2. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	38,70 ms	10,57 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	39,00 ms	11,43 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	42,60 ms	21,71 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	39,50 ms	12,86 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	38,40 ms	9,714 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	35,60 ms	1,714 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,850 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	4,950 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,050 A	-60,00 °	35,00 ms	44,80 ms	28,00 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,150 A	-60,00 °	35,00 ms	38,00 ms	8,571 %	No	Passed

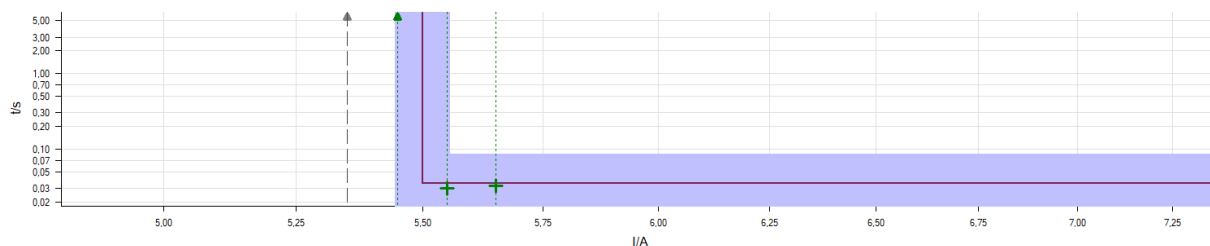


Obr. 47 Charakteristika směrové nadproudové ochrany pro VN393 (2. sada)

Tab. 30 Test nesměrové nadproudové ochrany v ZRP pro VN393 (2. sada)

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	30,10 ms	-14,00 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	32,40 ms	-7,429 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	29,90 ms	-14,57 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	29,50 ms	-15,71 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	32,00 ms	-8,571 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	31,00 ms	-11,43 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,350 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,450 A	120,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,550 A	120,00 °	35,00 ms	35,60 ms	1,714 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	5,650 A	120,00 °	35,00 ms	30,20 ms	-13,71 %	No	Passed





Obr. 48 Charakteristika nesměrové nadproudové ochrany pro VN393 (2. sada)

## Test automatiky OZ

Tab. 31 Nastavení automatiky OZ pro VN393

Doba beznapěťové pauzy	1. cyklus	2. cyklus
	s	s
nastavení pro 1. sadu	0,8	30
nastavení pro 2. sadu	–	–

Tab. 32 Test 3-pólového OZ pro VN393

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TI>>	I>> (1)	I>> (1)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	238,0 ms	38,00 ms	+
TOZ	pauza 1	pauza 1	f2QM 0>1	800,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	814,8 ms	14,80 ms	+
TI>>	I>> (2)	I>> (2)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	235,2 ms	35,20 ms	+
TOZ2	pauza 2	pauza 2	f2QM 0>1	30,00 s	500,0 ms	500,0 ms	30,01 s	14,70 ms	+
TI>>	I>> (3)	I>> (3)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	235,4 ms	35,40 ms	+

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

Tab. 33 Test 1-pólového OZ pro VN393

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TI>>	I>> (1)	I>> (1)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	240,6 ms	40,60 ms	+
TOZ	pauza 1	pauza 1	f2QM 0>1	800,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	815,1 ms	15,10 ms	+
TI>>	I>> (2)	I>> (2)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	235,2 ms	35,20 ms	+
TOZ2	pauza 2	pauza 2	f2QM 0>1	30,00 s	500,0 ms	500,0 ms	30,01 s	14,70 ms	+
TI>>	I>> (3)	I>> (3)	f1QM 0>1	200,0 ms	50,00 ms	50,00 ms	235,2 ms	35,20 ms	+

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

## Test frekvenční ochrany

Tab. 34 Test frekvenční ochrany pro VN393

VN393	stupeň	1.	2.	3.	4.
	nastavení	49,00 Hz	48,70 Hz	48,40 Hz	48,00 Hz
1. sada	náběh	48,99 Hz	48,69 Hz	48,40 Hz	47,99 Hz
	vypínací čas	73,1 ms	78,5 ms	82,3 ms	84,5 ms
2. sada	náběh	48,99 Hz	48,69 Hz	48,40 Hz	47,99 Hz
	vypínací čas	67,7 ms	72,8 ms	83,3 ms	78,6 ms
Nastavený stupeň		frekvenční ochrana vypnuta			

## Test zemní nesměrové ochrany při ZRP

Tab. 35 Měření náběhové hodnoty  $U_0$  při ZRP (nastaveno 30 V) pro VN393

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
náběh	Ramp 1	f1QM 0->1	U 0	30,00 V	30,05 V	500,0 mV	500,0 mV	50,00 mV	+	39,80 ms
odpad	Ramp 2	f1QM 1->0	U 0	28,50 V	28,52 V	500,0 mV	500,0 mV	20,00 mV	+	1,500 ms

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

Tab. 36 Měření času vypnutí od  $U_0$  při ZRP pro VN393

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TUo	Uo>60V	Uo>60V	f1QM 0>1	30,00 ms	10,00 ms	10,00 ms	33,90 ms	3,900 ms	+

Assess: + ... Passed x ... Failed o ... Not assessed

## Testy dalších ochranných funkcí v Quick CMC (manuální)

Tab. 37 Výsledky testů dalších ochranných funkcí a měření pro VN393

Sada / funkce	zemní směrová	nesymetrie $I_2$	nesymetrie $U$	kontrola měření	lokátor poruch
1. sada	✓	✓	✓	✓	✓
2. sada	netestováno	✓	✓	✓	✓

## Celkový výsledek diagnostiky ochrany

Tab. 38 Výsledek diagnostiky ochrany pro VN393

VN393	ochranné funkce a měření	kontrola LOR a blok. funkcí	kontrola hlášek do ŘS	uzavřenost proudových obvodů	funkční zkoušky s vypínačem
výsledek	✓	✓	✓	✓	✓
závěr	Ochrana je schopna bezpečného provozu.				

Testovaná ochrana VN393 prošla úspěšně všemi body testu a je schopna bezpečného provozu. Naměřená data odpovídají nastaveným hodnotám v rámci zadaných tolerancí a během testu nedošlo k žádnému abnormálnímu chování ochrany.

### 4.6.3 AVA17, T101 (22 kV)

Tab. 39 Základní informace o testované ochraně v kobce č.17

kobka	objekt	typ ochrany	výrobní číslo	firmware	PTP	součtový PTP	datum zkoušky
AVA17	T101	7SJ85	BM1607005060	07.31	1250 / 5 – 5 A	–	20.11.2020

Testované ochrany na sekundární straně transformátorů (T101, T102) mají nakonfigurovanou pouze jednu sadu parametrů. Nadproudová ochrana nemá aktivní směrové nadproudové funkce a není použita funkce dynamického přepínání parametrů při studeném zapnutí.

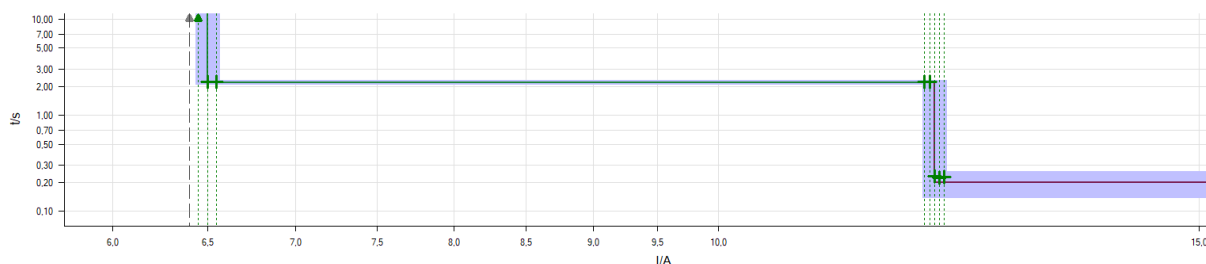
## Test nadproudových funkcí

Tab. 40 Nastavení nadproudové ochrany pro T101

nadproudové funkce	nesměrová			
	$I >$		$I >>$	
	A	s	A	s
nastavení	6,5	2,2	12,0	0,2

Tab. 41 Test nadproudové ochrany pro T101

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,229 s	1,314 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,225 s	1,118 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,235 s	1,573 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,226 s	1,191 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,235 s	1,586 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,231 s	1,409 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,236 s	1,632 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,225 s	1,136 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,219 s	0,8409 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,224 s	1,091 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	231,3 ms	15,65 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	224,5 ms	12,25 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	227,4 ms	13,70 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,222 s	0,9773 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,219 s	0,8818 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	235,4 ms	17,70 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	228,2 ms	14,10 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	225,4 ms	12,70 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,222 s	0,9818 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,227 s	1,241 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	2,220 s	1010, %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	229,8 ms	14,90 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	224,4 ms	12,20 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,222 s	0,9773 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,226 s	1,186 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	237,3 ms	18,65 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	229,1 ms	14,55 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	230,5 ms	15,25 %	No	Passed



Obr. 49 Charakteristika nadproudové ochrany T101

## Test přepětové ochrany

Tab. 42 Nastavení přepětové ochrany pro T101

Přepětová ochrana	přepětový stupeň			
	1. stupeň		2. stupeň	
	V	s	V	s
nastavení	109,5	5,0	114,5	4,0

Tab. 43 Test náběhové hodnoty 1. přepětového stupně T101

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
náběh	Ramp 1	U> 0->1	V L1-L2	109,5 V	109,6 V	200,0 mV	200,0 mV	55,00 mV	+	5,015 s
odpad	Ramp 2	U> 1->0	V L1-L2	107,0 V	107,0 V	500,0 mV	500,0 mV	0,00 V	+	29,70 ms

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 44 Měření času náběhu 1. přepětového stupně T101

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TU>	U>	U>	U> 0>1	5,000 s	100,0 ms	100,0 ms	5,029 s	29,10 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 45 Test náběhové hodnoty 2. přepětového stupně T101

Name/ Exec.	Ramp	Condition	Sig	Nom.	Act.	Tol.-	Tol.+	Dev.	Assess	Tact
náběh	Ramp 1	f12F771FA 0->1	V L1-L2	114,5 V	114,6 V	200,0 mV	200,0 mV	55,00 mV	+	4,027 s
odpad	Ramp 2	f12F771FA 1->0	V L1-L2	112,3 V	112,2 V	500,0 mV	500,0 mV	-100,0 mV	+	20,00 ms

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

Tab. 46 Měření času náběhu 2. přepětového stupně T101

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TU>>	U>>	U>>	f12F771FA 0>1	4,000 s	100,0 ms	100,0 ms	4,026 s	26,20 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

## Test napětové nesymetrie

Tab. 47 Test napětové nesymetrie T101

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
TUdiff	Udiff	Udiff	U> 0>1	5,000 s	500,0 ms	500,0 ms	5,433 s	433,3 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

## Celkový výsledek diagnostiky ochrany

Tab. 48 Výsledek diagnostiky ochrany T101 (22 kV)

T101 (22 kV)	ochranné funkce a měření	kontrola blok. funkcí	kontrola hlášek do ŘS	uzavřenost proudových obvodů	funkční zkoušky s vypínačem
výsledek	✓	✓	✓	✓	✓
závěr	Ochrana je schopna bezpečného provozu.				

Testovaná ochrana T101 (22 kV) prošla úspěšně všemi body testu a je schopna bezpečného provozu. Naměřená data odpovídají nastaveným hodnotám v rámci zadaných tolerancí a během testu nedošlo k žádnému abnormálnímu chování ochrany.

#### 4.6.4 AVA29, T102 (22 kV)

Tab. 49 Základní informace o testované ochraně v kobce č.29

kobka	objekt	typ ochrany	výrobní číslo	firmware	PTP	součtový PTP	datum zkoušky
AVA29	T102	7SJ85	BM1607005150	07.31	1250 / 5 – 5 A	–	19.11.2020

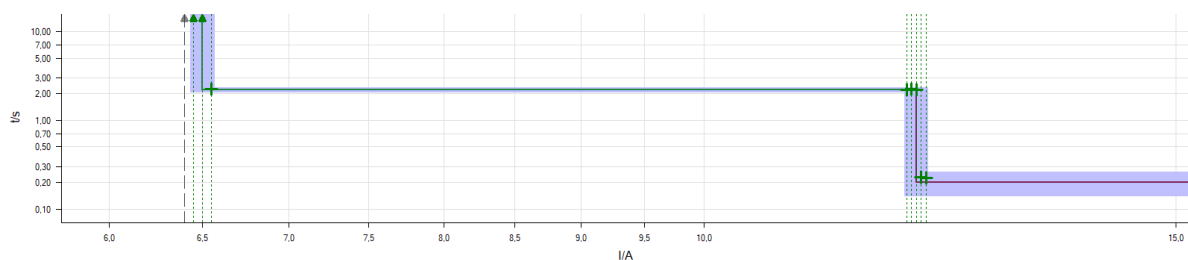
#### Test nadproudových funkcí

Tab. 50 Nastavení nadproudové ochrany pro T102

nadproudové funkce	nesměrová			
	I >		I >>	
	A	s	A	s
nastavení	6,5	2,2	12,0	0,2

Tab. 51 Test nadproudové ochrany pro T102

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tact	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	No trip	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,229 s	1,323 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,254 s	2,436 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,226 s	1,173 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	2,234 s	1,532 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,229 s	1,309 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,400 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,450 A	-60,00 °	No trip	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,500 A	-60,00 °	2,200 s	No trip	n/a	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	6,550 A	-60,00 °	2,200 s	2,233 s	1,509 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,220 s	0,9045 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,226 s	1,200 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	2,217 s	1009, %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	229,7 ms	14,85 %	No	Passed
L1-L2-L3	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	225,5 ms	12,75 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,222 s	0,9909 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,221 s	0,9455 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	2,227 s	1014, %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	227,2 ms	13,60 %	No	Passed
L1-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	232,5 ms	16,25 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,222 s	0,9864 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,225 s	1,118 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	238,3 ms	19,15 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	231,0 ms	15,50 %	No	Passed
L2-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	233,0 ms	16,50 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	11,90 A	-60,00 °	2,200 s	2,227 s	1,246 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	11,95 A	-60,00 °	2,200 s	2,226 s	1,164 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,00 A	-60,00 °	200,0 ms	2,221 s	1011, %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,05 A	-60,00 °	200,0 ms	229,5 ms	14,75 %	No	Passed
L3-E	(---)	n/a	12,10 A	-60,00 °	200,0 ms	232,7 ms	16,35 %	No	Passed



Obr. 50 Charakteristika nadproudové ochrany T102

## Test přepětové ochrany

Tab. 52 Nastavení přepětové ochrany pro T102

Přepětová ochrana	přepětový stupeň			
	1. stupeň		2. stupeň	
	V	s	V	s
nastavení	109,5	5,0	114,5	4,0

Tab. 53 Test náběhové hodnoty 1. přepětového stupně T102

Jméno/zprac.	Rampa	Podmínka	Sig	Jmen.	Skut.	Tol.-	Tol.+	Odch.	Vyhodnotit	Tact
náběh	Rampa 1	U> 0->1	V L1-L2	109,5 V	109,6 V	200,0 mV	200,0 mV	55,00 mV	+	5,024 s
odpad	Rampa 2	U> 1->0	V L1-L2	107,0 V	107,0 V	500,0 mV	500,0 mV	0,000 V	+	27,10 ms
Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno										

Tab. 54 Měření času náběhu 1. přepětového stupně T102

Název	Ignorovat před	Spustit	Zastavit	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Vyhodnotit
TU>	U>	U>	U> 0>1	5,000 s	100,0 ms	100,0 ms	5,025 s	24,50 ms	+
Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno									

Tab. 55 Test náběhové hodnoty 2. přepětového stupně T102

Jméno/zprac.	Rampa	Podmínka	Sig	Jmen.	Skut.	Tol.-	Tol.+	Odch.	Vyhodnotit	Tact
náběh	Rampa 1	f12F771FA 0->1	V L1-L2	114,5 V	114,6 V	200,0 mV	200,0 mV	55,00 mV	+	4,029 s
odpad	Rampa 2	f12F771FA 1->0	V L1-L2	112,3 V	112,2 V	500,0 mV	500,0 mV	-100,0 mV	+	22,30 ms
Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno										

Tab. 56 Měření času náběhu 2. přepětového stupně T102

Název	Ignorovat před	Spustit	Zastavit	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Vyhodnotit
TU>>	U>>	U>>	f12F771FA 0>1	4,000 s	100,0 ms	100,0 ms	4,026 s	26,10 ms	+
Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno									

## Test napětové nesymetrie

Tab. 57 Test napětové nesymetrie T102

Název	Ignorovat před	Spustit	Zastavit	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Vyhodnotit
TUdiff	Udiff	Udiff	U> 0>1	5,000 s	500,0 ms	500,0 ms	5,383 s	382,7 ms	+
Vyhodnotit: + .. Úspěšný x .. Selhal o .. Nehodnoceno									

## Celkový výsledek diagnostiky ochrany

Tab. 58 Výsledek diagnostiky ochrany T102 (22 kV)

T102 (22 kV)	ochranné funkce a měření	kontrola blok. funkcí	kontrola hlášek do ŘS	uzavřenost proudových obvodů	funkční zkoušky s vypínačem
výsledek	✓	✓	✓	✓	✓
závěr	Ochrana je schopna bezpečného provozu.				

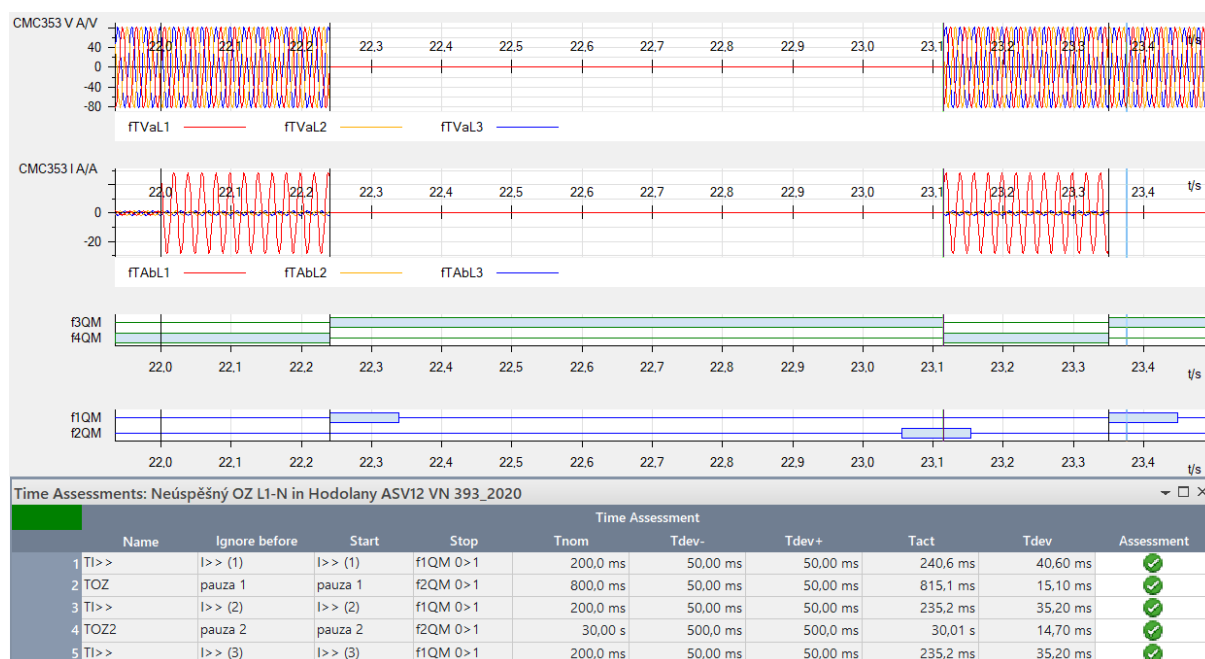
Testovaná ochrana T102 (22 kV) prošla úspěšně všemi body testu a je schopna bezpečného provozu. Naměřená data odpovídají nastaveným hodnotám v rámci zadaných tolerancí a během testu nedošlo k žádnému abnormálnímu chování ochrany.

## 4.7 Rozbor působení vybraných ochranných funkcí v programu Siga

V této části diplomové práce je proveden detailnější rozbor působení některých ochranných funkcí ochrany. K rozboru jsou využity stažené poruchové záznamy z testované ochrany a naměřená data z programu Test Universe. Pro zobrazení a analýzu poruchových záznamů je využit program Siga. Ve všech případech se jedná o simulované poruchy pomocí Omicronu s rozpojeným vypínacím povelům na vypínač.

### Působení zkratové ochrany

Simulován je zkrat ve směru ve fázi  $L_1$  (reálně by musel nastat simultánní zkrat) na ochraně vedení VN393. Jedná se o první část testu automatiky OZ, uvedenou v Tab. 33, kdy se měřil i čas působení zkratové ochrany.

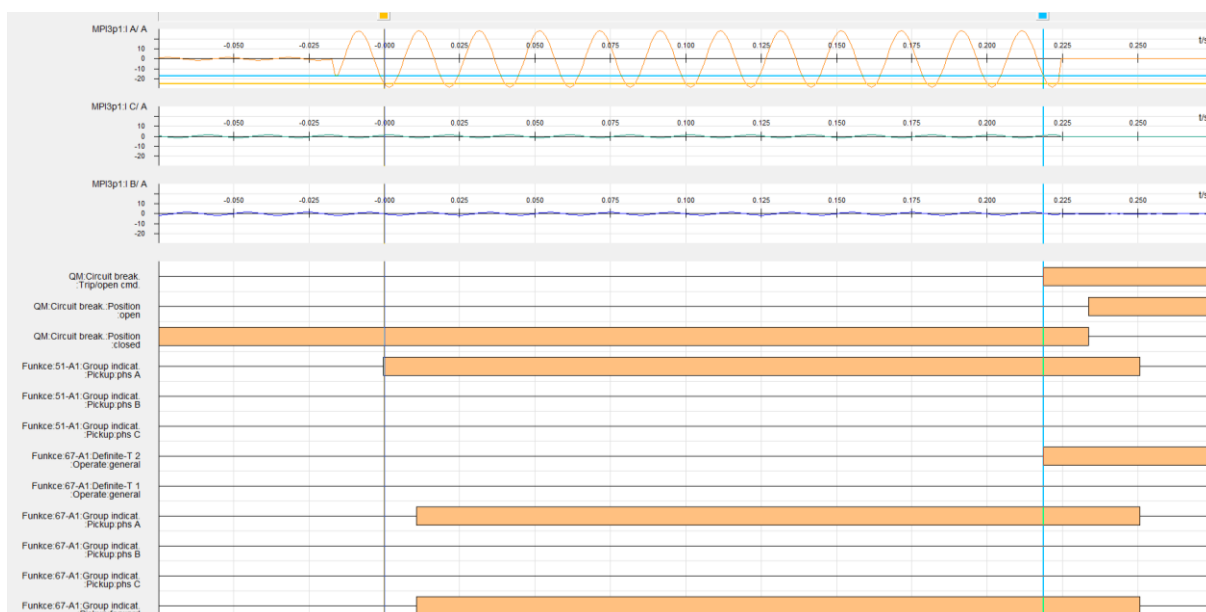


Obr. 51 Test zkratové ochrany a automatiky OZ



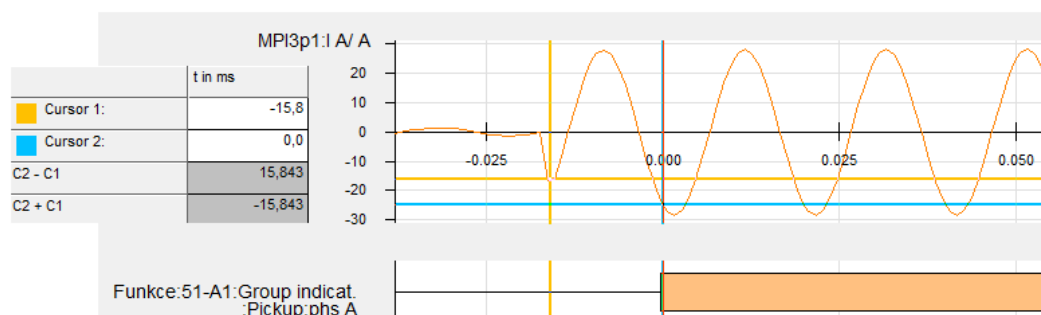
Obr. 51 zobrazuje průběh celé testovací sekvence včetně vyhodnocení testu v programu Test Universe. Jsou zde také zaznamenané stavy binárních vstupů a výstupů testovacího zařízení. Binární vstupy jsou označené f1QM (vypínací povel od ochrany) a f2QM (zapínací povel od ochrany). Binární výstupy simulující stav vypínače mají označení f3QM (vypnutý stav) a f4QM (zapnutý stav).

Na Obr. 52 lze vidět stažený poruchový záznam z ochrany, zobrazující úvodní část celého testu – vznik poruchy a první působení zkratové ochrany. Efektivní hodnota proudu po vzniku poruchy ve fázi  $L_1$  je 20 A. Směrový zkratový stupeň ochrany je nastaven na 15 A se zpožděním 200 ms.



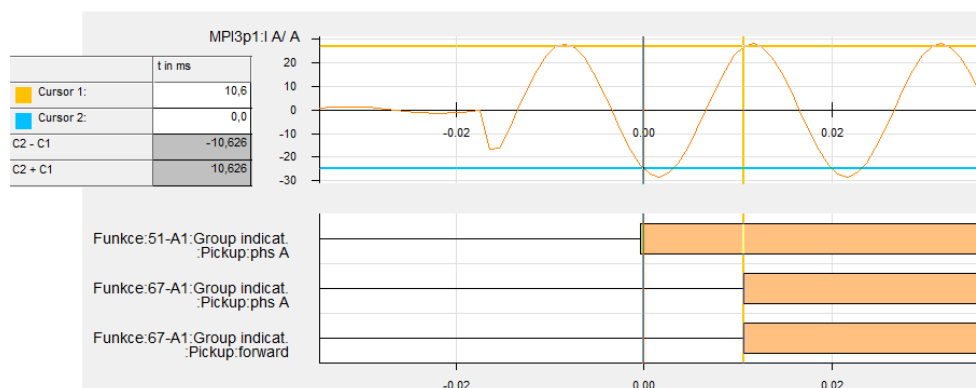
Obr. 52 Poruchový záznam z ochrany VN393 zobrazený v programu Siga

Na Obr. 53 je detailnější pohled na vznik poruchy. Z grafu průběhu proudu ve fázi  $L_1$  můžeme odečíst, že ochrana od vzniku poruchy do vydání popudu a rozběhu časového členu potřebuje 15,8 ms. Pro určení směru poruchy (Funkce:67-A1:Group indicat.:Pickup:forward) ochrana pak potřebuje dalších 10,6 ms, tj. 26,4 ms od začátku poruchy viz Obr. 54.



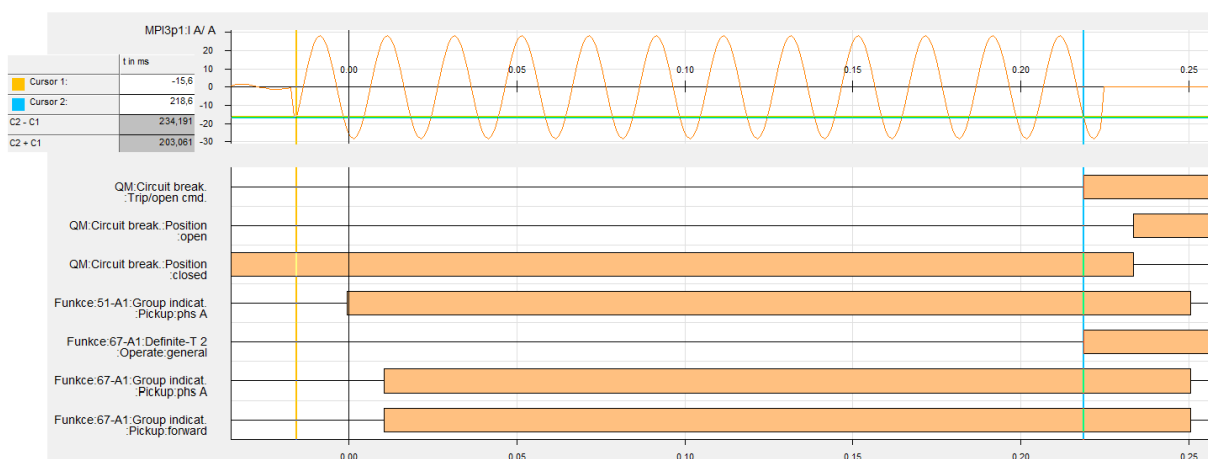
Obr. 53 Vznik poruchy a popud ve fázi  $L_1$





Obr. 54 Čas potřebný pro určení směru poruchy ochranou

Jak lze vidět na Obr. 55, od vzniku poruchy do vydání vypínacího povelu ochranou uplyne čas 234,2 ms (218,6 ms od popudu). Přičemž nastavený čas zpoždění je 200 ms a naměřená hodnota testovacím programem Test Universe je 240,6 ms. Rozdíl je pravděpodobně způsobený časem potřebným pro sepnutí relé binárního výstupu ochrany. [17]

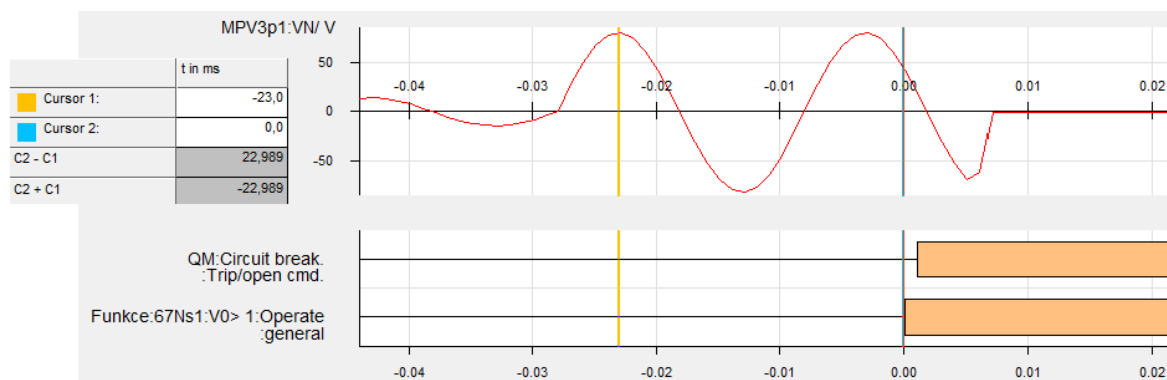


Obr. 55 Čas působení zkratové ochrany

Jelikož se jedná o simulovanou poruchu a ochrana nepůsobí na vypínač (rozpojený binární výstup z ochrany), nemá další rozbor vypínacího děje příliš smysl. Stav polohy vypínače je simulován pomocí Omicronu a zpoždění mezi vydáním vypínacího povelu a rozpojeným stavem vypínače je dán rychlostí binárních vstupů a výstupů Omicronu.

### Působení zemní nesměrové ochrany při ZRP

Simulován je vznik nulové složky napětí  $U_0$ , na který reaguje zemní nesměrová ochrana (VN393) v režimu ZRP okamžitým vypnutím. Od vzniku poruchy (první poruchová amplituda napětí) do její detekce uplyne 23 ms. K tomuto času je potřeba přičíst 1 ms, kterou ochrana potřebuje na vydání vypínacího povelu, což je celkem 24 ms od počátku poruchy. Čas naměřený programem Test Universe je 33,9 ms, jak je uvedeno v Tab. 36.



Obr. 56 Vznik nulové složky napětí a vypnutí ochranou při ZRP

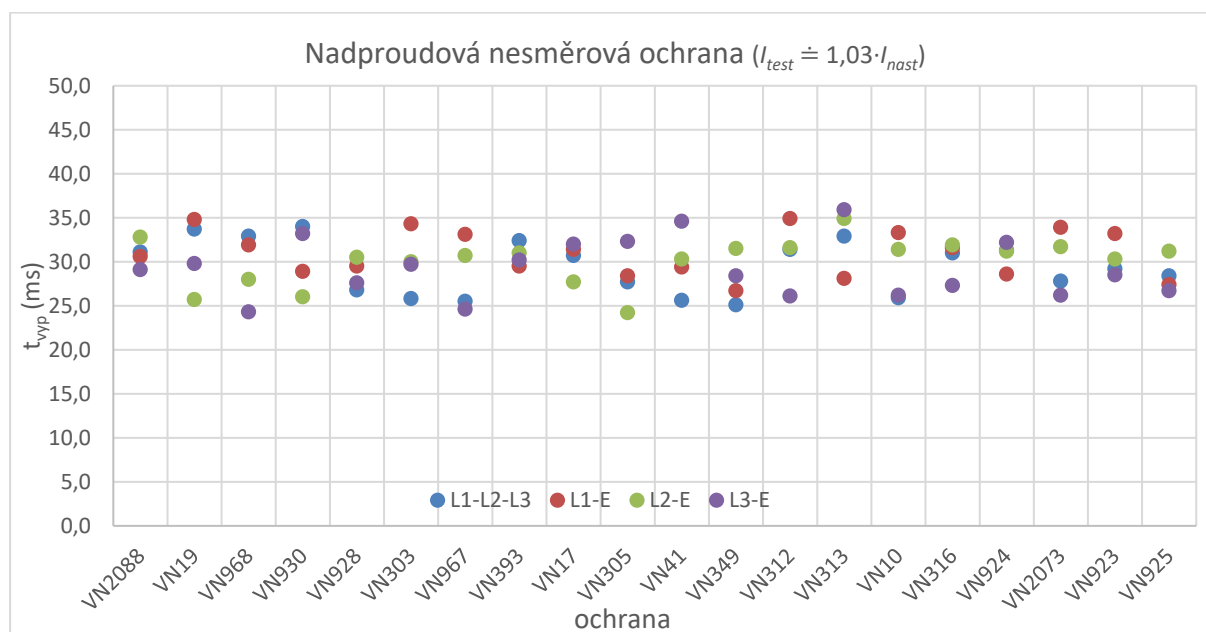
Výrobce v manuálu uvádí zpoždění (nastavený čas  $t = 0$  s) 25 ms + čas potřebný na sepnutí relé binárního výstupu cca 5 ms, tedy celkem 30 ms, což přibližně odpovídá zjištěným časům. [17]

#### 4.8 Rozbor rychlosti působení vybraných ochranných funkcí

V této kapitole jsou k analýze rychlosti působení vybraných ochranných funkcí použita data z celkem dvaceti testovaných ochranných SIPROTEC 7SJ85. Všechna měření probíhala v režimu ZRP (2. sada) s nastaveným vypínacím časem  $t = 0$  s.

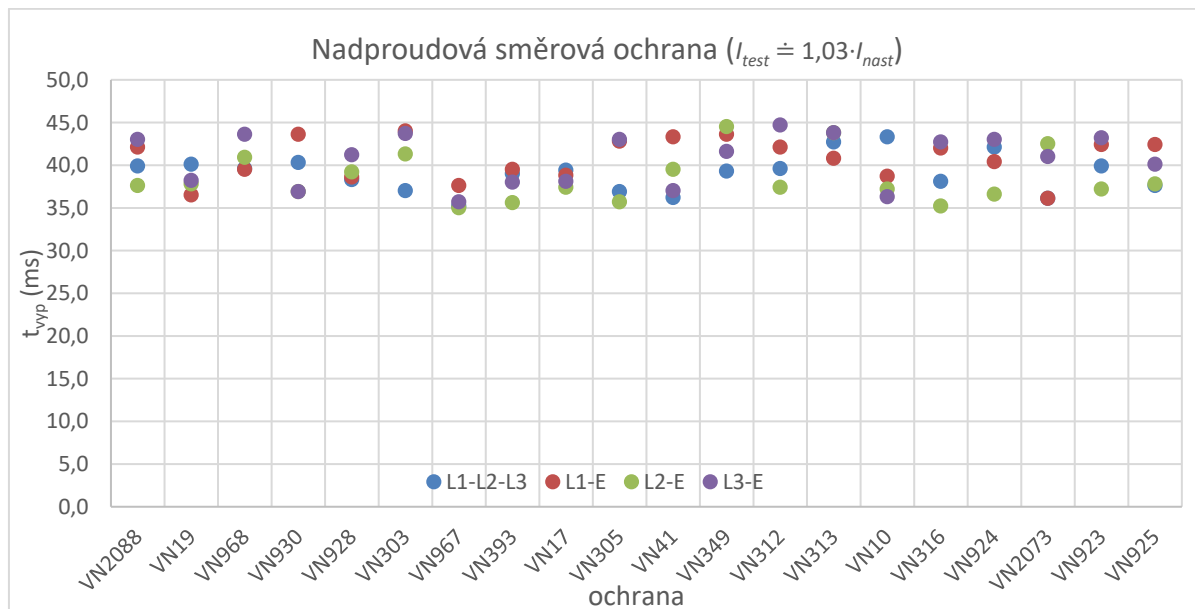
##### Nadproudová ochrana (nesměrová, směrová)

V Graf 1 jsou zobrazeny naměřené vypínací časy nadproudové nesměrové ochrany pro jednotlivá vedení. U každé z ochranných byly provedeny čtyři měření – tři pro jednofázové poruchy a jedno pro třífázovou poruchu, celkem 80 měřených hodnot. Ochrany byly testovány proudem jen o něco málo vyšším (cca  $1,03 \cdot I_{nast}$ ) než je nastavená hodnota v ochraně.



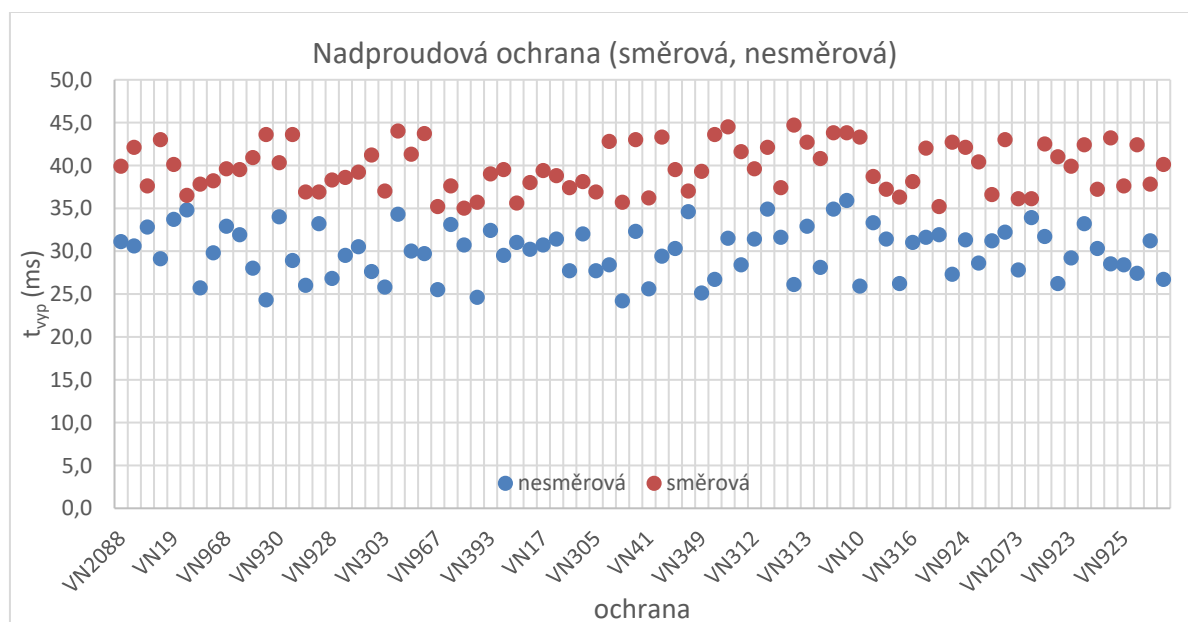
Graf 1 Naměřené vypínací časy nadproudových nesměrových ochranných funkcí

Z grafu lze vidět, že rozptyl naměřených hodnot není příliš velký. Maximální naměřený čas je 35,9 ms, minimální 24,2 ms. Průměrný vypínací čas činí 29,9 ms, což je velice blízko hodnotě udávané v manuálu ochrany (30 ms). Do Graf 2 jsou vyneseny naměřené hodnoty z nadproudových směrových ochran. Testování probíhalo za stejných podmínek jako u nesměrových ochran.



Graf 2 Naměřené vypínací časy nadproudových směrových ochran

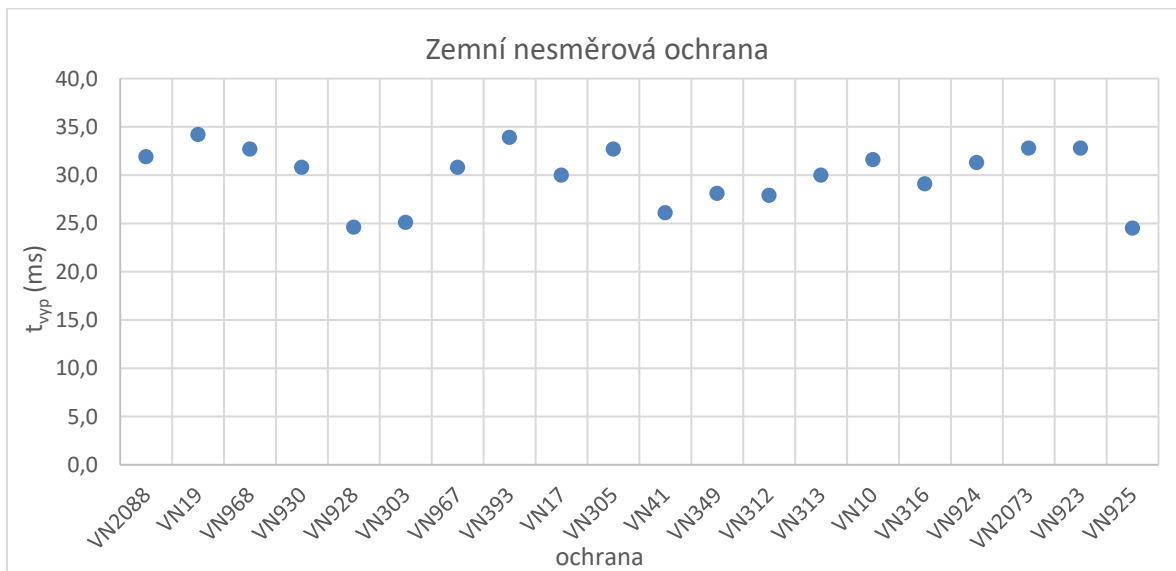
Naměřené vypínací časy jsou téměř ve všech případech delší než u nesměrových ochran. Maximální hodnota je 44,7 ms, minimální 35,0 ms. Průměrná doba vypnutí směrových ochran činí 39,7 ms, což je o 9,8 ms více než u nesměrových. V manuálu je uváděna stejná hodnota pro směrové i nesměrové ochrany 30 ms. Přehledné porovnání vypínacích časů směrových i nesměrových ochran je v Graf 3.



Graf 3 Porovnání vypínacích časů směrových a nesměrových ochran

## Zemní nesměrová ochrana při ZRP

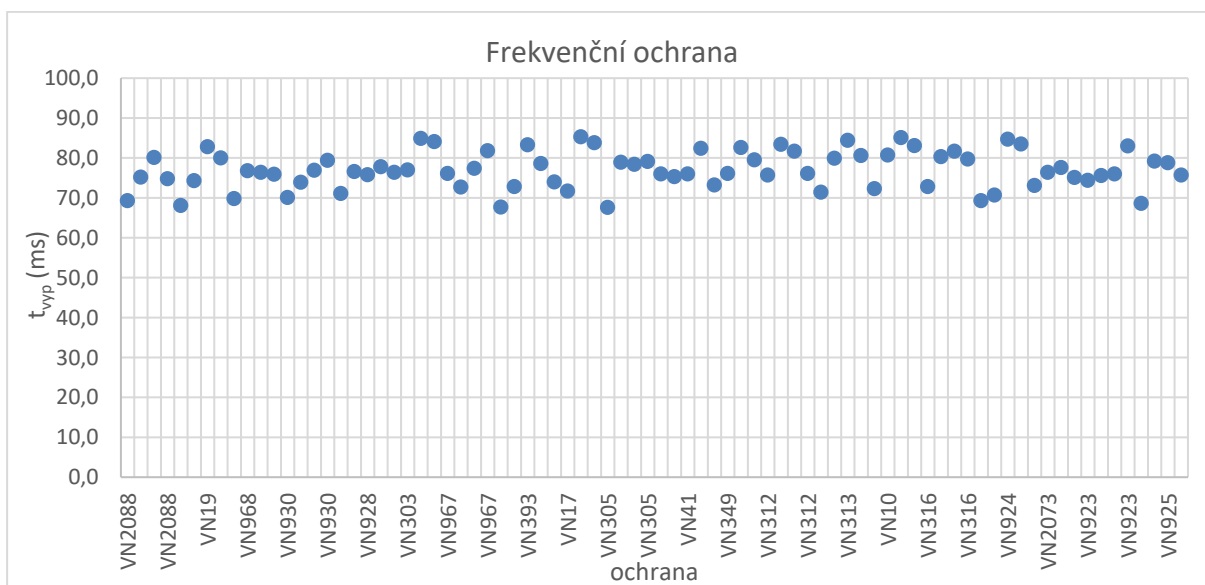
Následující graf ukazuje změřené vypínací časy zemních nesměrových ochran, které v režimu ZRP vypínají vývod bez časového zpoždění. Celkem bylo provedeno 20 měření, po jednom na každé ochraně. Maximální naměřená hodnota je 34,2 ms, minimální 24,5 ms, průměr všech dvaceti měření činí 30,1 ms. Výrobce uvádí vypínací čas přibližně 30 ms, což téměř přesně odpovídá výsledkům měření.



Graf 4 Naměřené vypínací časy zemní nesměrové ochrany

## Frekvenční ochrana

U každé z ochran byly provedeny čtyři měření, po jednom pro každý frekvenční stupeň. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v Graf 5. Maximální změřená vypínací doba je 85,3 ms, minimální 67,6 ms a průměrná byla vypočtena na 77,1 ms. V dokumentaci k ochraně SIPROTEC 7SJ85 je uváděn čas 75 ms, což se blíží průměrné naměřené hodnotě.



Graf 5 Naměřené vypínací časy frekvenční ochrany

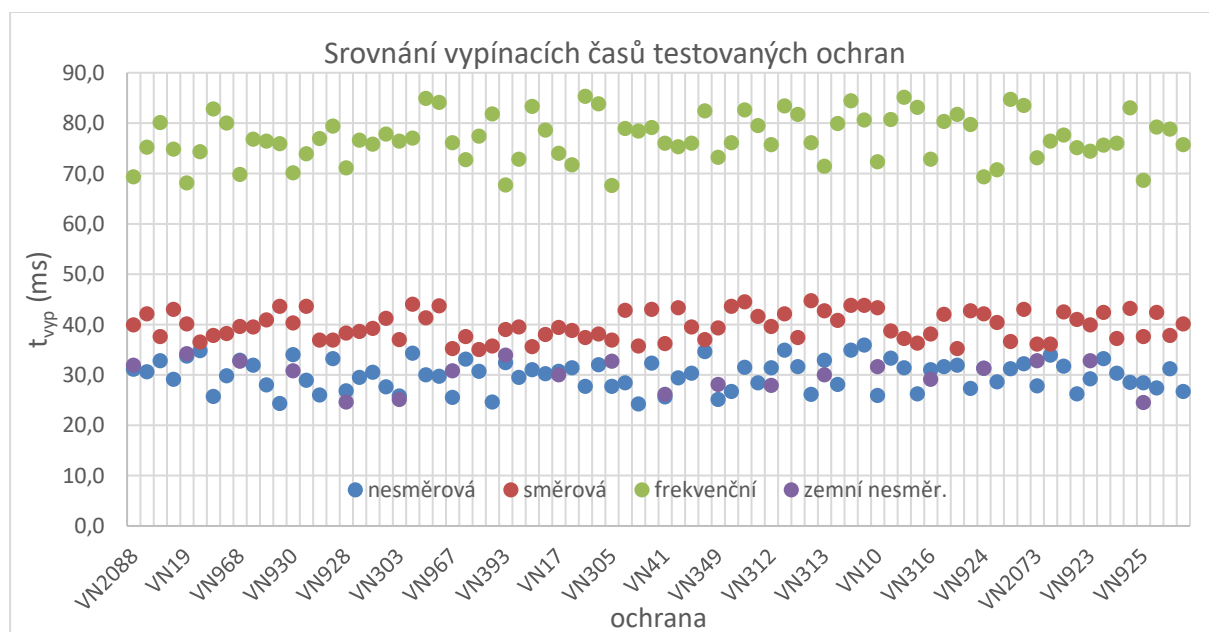
## Porovnání vypínacích časů vybraných ochran

V Tab. 59 jsou shrnuty výsledky měření vypínacích časů výše uvedených typů ochran (ochranných funkcí SIPROTEC 7SJ85) při nastaveném času vypnutí  $t = 0$  s.

Tab. 59 Porovnání naměřených vypínacích časů vybraných ochran

typ ochrany	minimální	maximální	průměrná	udávaná	odchylka
	ms	ms	ms	ms	%
nadproudová nesměrová	24,2	35,9	29,9	30,0	- 0,3
nadproudová směrová	35,0	44,7	39,7	30,0	+ 32,3
zemní nesměrová	24,5	34,2	30,1	30,0	+ 0,3
frekvenční	67,6	85,3	77,1	75,0	+ 2,8

S výjimkou nadproudové směrové ochrany jsou průměrné vypínací časy velice blízko hodnotám uváděným v dokumentaci ochrany. V případě nadproudové směrové ochrany je tato hodnota přibližně o 10 ms vyšší, což je 32 % více než uváděná hodnota. Důvodem může být malý testovací proud, překračující jen nepatrně nastavenou mez. Z hlediska doby potřebné k vydání vypínacího povelu potřebuje nejdelší čas jednoznačně frekvenční ochrana, a to 77,1 ms, což jsou téměř čtyři periody poruchového proudu.



Graf 6 Srovnání vypínacích časů testovaných ochran

## 5 Závěr

Elektrické ochrany jsou bezesporu jednou z nejdůležitějších součástí elektrizační soustavy. Nároky na ně kladené se zvyšují s postupným vznikem inteligentních sítí a s tím spojené digitalizace elektroenergetiky. Je nutná jejich vysoká spolehlivost, a ačkoliv se jedná téměř o bezúdržbová zařízení, je potřebné je v pravidelných intervalech kontrolovat. Tato práce měla za cíl přiblížit problematiku diagnostiky digitálních ochranných zařízení v praxi pomocí tzv. sekundárních zkoušek.

Teoretická část je rozdělena do tří kapitol. První kapitola se zabývá teoretickými základy problematiky ochranných zařízení a chránění. Jsou zde definovány základní pojmy, popsány poruchy v elektrizační soustavě a další důležité informace o konstrukci ochranných zařízení, jejich komunikaci, měřících zařízeních a také stručně zmíněna norma ČSN 33 3051, zabývající se ochranou rozvodných zařízení. Druhá kapitola podrobněji rozebírá nejčastěji používané typy ochranných zařízení v distribučních sítích, jako jsou např. nadproudové, rozdílové, distanční a další. Třetí kapitola přibližuje problematiku chránění distribučních sítí vysokého a velmi vysokého napětí. Každá z těchto sítí má svá specifika z hlediska chránění, která jsou zde popsána.

Praktickou částí diagnostiky ochranných zařízení se zabývá čtvrtá kapitola. Je zde popsána diagnostika čtyř ochranných zařízení SIPROTEC 7SJ85 na rozvodně Olomouc – Hodolany, R 22kV. Jednou z nejdůležitějších činností diagnostiky je prověření algoritmu ochranného zařízení (citlivosti, rychlosti, selektivity, přesnosti). K tomuto účelu bylo použito multifunkční testovací zařízení Omicron CMC 353 v kombinaci s testovacím softwarem Test Universe. Testované ochranné zařízení postupně prošly mnoha testy za účelem prověření jejich důležitých ochranných funkcí. Naměřená data u všech ochranných zařízení odpovídala nastaveným hodnotám v rámci zadáných tolerancí. Rovněž další body diagnostiky, jako je např. kontrola blokovacích funkcí, hlášek do řídicího systému, měření uzavřenosti proudových obvodů, funkční zkoušky s vypínačem apod., neodhalily žádné problémy a ochranné zařízení nevykazovaly nestandardní chování. Všechny testované ochranné zařízení jsou schopné bezpečného a spolehlivého provozu.

V podkapitole 4.7 je detailněji proveden rozbor působení směrové zkratové a zemní nesměrové ochrany pro vedení VN393 pomocí programu Sigrá. V případě zkratové ochrany bylo zjištěno, že ochrana potřebovala přibližně 16 ms pro vydání popudu a rozběh časového členu. Dalších 10 ms ochraně trvalo určení směru poruchy. V případě zemní nesměrové ochrany byl čas vydání vypínacího povelu 24 ms po vzniku simulovaného zemního spojení.

Podkapitola 4.8 analyzuje rychlost působení nadproudové (směrové, nesměrové), zemní nesměrové a frekvenční ochrany. Byla zde použita data z dvaceti ochranných zařízení SIPROTEC 7SJ85. Tyto data byla průměrována a následně porovnávána mezi sebou a také s daty udávanými v dokumentaci ochranných zařízení. Průměrné naměřené vypínací časy nadproudové nesměrové a zemní nesměrové ochrany jsou přibližně 30 ms, což odpovídá údajům výrobce. Nadproudová směrová ochrana pak potřebuje o 10 ms více než nesměrová. Nejdelší vypínací časy má frekvenční ochrana, která potřebovala v průměru 77 ms k vydání vypínacího povelu, výrobce uvádí 75 ms.

## Použitá literatura

- [1] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1978.
- [2] MEDVEC, Zdeněk. *Ochrany a automatiky v rozvodu: Učební texty pro magisterské kombinované studium*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TUO Ostrava, 2016
- [3] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení: 2. část – teorie chránění*. Brno: VUT Brno, 2013.
- [4] JANÍČEK, František, Vladimír CHLADNÝ a kol. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: STU Bratislava, 2004.
- [5] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [6] *Poruchy v distribuční soustavě vedoucí k poklesu a krátkému přerušení napětí. ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/poruchy-v-distribucni-soustave-vedouci-k-poklesu-a-kratkemu-preruseni-napeti>
- [7] MEDVEC, Zdeněk. *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách: Skriptum*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TUO Ostrava.
- [8] TLUSTÝ, Josef a kol. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [9] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. Brno: VUT Brno, 1985.
- [10] RUSEK, Stanislav. *Regulace kmitočtu. Regulace kmitočtu: Řízení kmitočtu v el. soustavě*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TUO Ostrava.
- [11] MÁŠLO, Karel a kol. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. ISBN 978-80-260-4461-1.
- [12] *RAX 1: Ochrana transformátorů*. Mladé Buky: Ochrany pro energetiku, Dohnálek, 2010. Dostupné také z: <https://www.dohnalek.cz/dokumenty/KL-RAX1.pdf>
- [13] *SIPROTEC: Multifunkční ochrana s řízením 7SJ62/63/64, příručka*. V4.6. Siemens. C53000-G1100-C147-7.
- [14] STODŮLKA, Ivo. *Model elektrické stanice s komunikačním protokolem IEC 61850*. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT Brno.
- [15] ČSN 33 3051. *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [16] DOHNÁLEK, Petr. *Provoz a údržba ochrany v energetice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [17] *SIPROTEC 5: Nadproudová ochrana 7SJ82/7SJ85, příručka*. V4.0. Siemens. C53000-G5000-C017-3.
- [18] VÁPENÍK, René. *Opětné zapínání v distribuční soustavě vysokého napětí. Elektrevue*. 2010 (12/2). ISSN 1213-1539.
- [19] TOMAN, Petr a kol. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.

- [20] GALETKA, Martin. *Přenosová soustava elektrické energie*. TZB-info [online]. [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- [21] *Technická data. ČEZ Distribuce* [online]. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data.html>
- [22] *Popis distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s. E.ON Distribuce* [online]. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: [https://www.eon-distribuce.cz/sites/default/files/2020-08/Popis\\_DS\\_2020.pdf](https://www.eon-distribuce.cz/sites/default/files/2020-08/Popis_DS_2020.pdf)
- [23] *Technické informace. PREdistribuce* [online]. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>
- [24] POSPÍŠIL, Jaroslav. *Metodika nastavení elektrických ochran pro napěťovou hladinu 22 kV*. Elektrotechnický magazín. 07/2007.
- [25] *Omicron CMC 353: CMC 353. Omicronenergy* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-353/>
- [26] *Omicron CMC 353: Referenční příručka*. CMC 353.CZ.1. OMICRON electronics, 2010.
- [27] *Fluke 175 Digitální multimetr* [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/cs-cz/produkt/elektricke-testovani/digitalni-multimetry/fluke-175>
- [28] *Pravidla provozování přenosové soustavy: Kodex přenosové soustavy, část V. Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS*. Revize 18. ČEPS, 2018.
- [29] *PNE 384065-ed.4: Provoz, navrhování a zkoušení ochran a automatik*. 2017.